


UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
TROPICAL



CRESCIMENTO E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM
PIMENTEIRA-DE-CHEIRO (*Capsicum chinense* Jacquin) cv.
LUPITA, EM MANAUS, AM

JAISSON MIYOSI OKA

Dr. FRANCISCO CÉLIO MAIA CHAVES
Orientador

MANAUS, AM
2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
TROPICAL

JAISSON MIYOSI OKA

CRESCIMENTO E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM
PIMENTEIRA-DE-CHEIRO (*Capsicum chinense* Jacquin) cv.
LUPITA, EM MANAUS, AM

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical – PPGATR da Universidade Federal do Amazonas - UFAM, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Agronomia Tropical, área de concentração Produção Vegetal.

Orientador: Dr. Francisco Célio Maia Chaves

MANAUS, AM
2017

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

O41c Oka, Jaisson Miyosi
CRESCIMENTO E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM
PIMENTEIRA-DE-CHEIRO (*Capsicum chinense* Jacquin) cv.
LUPITA, EM MANAUS, AM / Jaisson Miyosi Oka. 2017
113 f.: il.; 31 cm.

Orientador: Francisco Célio Maia Chaves
Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal
do Amazonas.

1. *Capsicum chinense*. 2. pimenta. 3. acúmulo de nutrientes. 4.
produção de frutos. I. Chaves, Francisco Célio Maia II.
Universidade Federal do Amazonas III. Título

JAISSON MIYOSI OKA

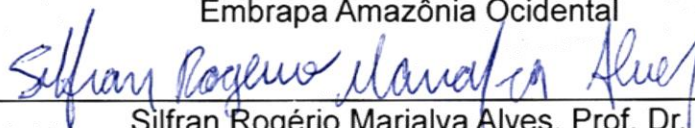
CRESCIMENTO E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM
PIMENTEIRA-DE-CHEIRO (*Capsicum chinense* Jacquin) cv.
LUPITA, EM MANAUS, AM

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical – PPGATR da Universidade Federal do Amazonas - UFAM, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Agronomia Tropical, área de concentração Produção Vegetal.

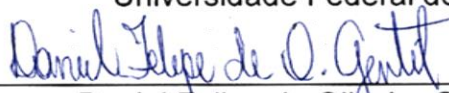
Aprovada em 30 de junho de 2017



Francisco Célio Maia Chaves, Dr.
Embrapa Amazônia Ocidental



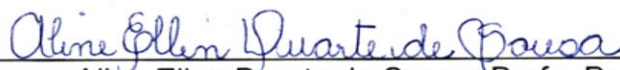
Silfran Rogério Marialva Alves, Prof. Dr.
Universidade Federal do Amazonas



Daniel Felipe de Oliveira Gentil, Prof. Dr.
Universidade Federal do Amazonas



Maria do Rosário Lobato Rodrigues, Dra.
Embrapa Amazônia Ocidental



Aline Ellen Duarte de Sousa, Profa. Dra.
Universidade Federal do Amazonas

DEDICATÓRIA

Ao Pai Celestial!

Pelo dom da vida, pela saúde concedida, pela força, luz e proteção para minha existência e realização deste Doutorado.

A meu orientador Dr. Francisco Célio Maia Chaves, pelos preciosos ensinamentos e grande ajuda.

A minha mãe, Maria de Fátima de Souza Tavares e minha esposa Amanda Rocha Oka, pelos cuidados e amor ofertados, por serem as minhas maiores incentivadoras na educação e humildade.

Aos meus queridos irmãos, Alexandre e Ronalde, pelo carinho, ajuda, união e por compartilharem comigo todos os momentos de minha vida!

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Amazonas, em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola e Solos, pela oportunidade e apoio concedidos para realização do Doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento do Ensino Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, pela estrutura e oportunidade de desenvolvimento da pesquisa conjunta em suas dependências.

Ao professor Dr. Francisco Célio Maia Chaves, meu orientador, mais que agradecimento, devo-lhe imensa consideração pela orientação e pelo préstimo empenhado para a concretização deste trabalho. Bem como, pela amizade, incentivo e aconselhamento com o objetivo de formar-me um profissional qualificado.

Aos amigos Adriana Gil, André Borborema, André Santos, Atman Campelo, Italo Braga, Marcelo Róseo, Rodrigo Berni, Maísa Santos, João Monteiro, pelo privilégio da amizade, companheirismo e pela ajuda em todas as etapas deste doutorado.

A todos os colegas e amigos da Pós-Graduação que de alguma forma me ajudaram e pela satisfação do convívio no dia a dia.

Aos companheiros de trabalho da Embrapa Amazônia Ocidental, senhores Antônio Carlos, Miqueias Souza, César Moraes, Mário Kokay, e todos os demais que muito contribuíram para com esta pesquisa.

RESUMO

A espécie *Capsicum chinense* possui uma variedade de morfotipos diferentes de plantas, das quais encontra-se a pimenta-de-cheiro, cujos frutos são muito apreciados tanto na culinária como para fins industriais, porém pouco se sabe sobre as características nutricionais desta espécie. O objetivo deste estudo foi determinar as fenofases, crescimento e acúmulo de nutrientes pela pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 14 x 5, como variáveis dependentes de 14 períodos de avaliação (20, 30, 40, 50, 60, 70, 84, 98, 112, 126, 140, 154, 175 e 200 dias após a emergência), e cinco partes da planta (raiz, caule, folha, flor e fruto) com oito repetições. Todas as plantas receberam as mesmas dosagens de nutrientes. Em cada período foram avaliadas as características morfológicas da planta, além da altura, diâmetro do coleto, número de folhas, área foliar, área da folha, produção de frutos, características morfofisiológicas e o conteúdo de nutrientes em cada parte da planta. As plantas cresceram de forma logística com maiores valores de crescimento nos últimos períodos de avaliação. A pimenteira-de-cheiro tem maior taxa de crescimento entre 60 e 112 dias após a emergência. A produção de frutos chegou aos 8.897,5 g planta⁻¹. As taxas de crescimento relativo e de assimilação líquida, tiveram seus maiores valores aos 20 e 40 dias após a emergência. As plantas tiveram incrementos crescentes de nutrientes, com maiores valores de acúmulo encontrados para nitrogênio e potássio entre os macronutrientes, e ferro e zinco entre os micronutrientes. Entre as partes da planta, os maiores acúmulos de nutrientes ocorreram nos frutos. O crescimento e o acúmulo de nutrientes na pimenteira-de-cheiro está altamente relacionado ao tempo de cultivo da planta, principalmente ao período fenológico produtivo, onde há maior acúmulo de nutrientes em relação as demais fenofases. A série preferencial de acúmulo de nutrientes foi de N>K>Ca>P>S>Mg>Fe>Zn>Mn>B>Cu ao final do experimento. Equações que tenham formato sigmoide são as mais adequadas para descrever o crescimento da pimenteira-de-cheiro, e a equação sigmoide descreve melhor os acúmulos de nutrientes na planta.

Palavras-chave: *Capsicum chinense*, pimenta, acúmulo de nutrientes, produção de frutos.

ABSTRACT

The species *Capsicum chinense* has a variety of different morphotypes of plants, of which pepper is found, the fruits of which are much appreciated both in cooking and for industrial purposes, but little is known about the nutritional characteristics of this species. The objective of this study was to determine the phenophases, growth and accumulation of nutrients by peppermint (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita in greenhouse. The experiment was conducted in a completely randomized design, in a 14 x 5 factorial scheme, as dependent variables of 14 evaluation periods (20, 30, 40, 50, 60, 70, 84, 98, 112, 126, 140, 154, 175 and 200 days after emergence), and five plant parts (root, stem, leaf, flower and fruit) with eight replicates. All plants received the same dosages of nutrients. The morphological characteristics of the plant were evaluated in each period, besides the height, collection diameter, number of leaves, leaf area, leaf area, fruit production, morphological characteristics and nutrient content in each part of the plant. The plants grew logistically with higher growth values in the last evaluation periods. Peppercorn has a higher growth rate between 60 and 112 days after emergence. Fruit yield reached 8,897.5 g plant⁻¹. Relative growth and net assimilation rates had their highest values at 20 and 40 days after emergence. The plants had increasing increments of nutrients, with higher accumulation values found for nitrogen and potassium among the macronutrients, and iron and zinc among micronutrients. Among the parts of the plant, the greatest accumulations of nutrients occurred in the fruits. The growth and accumulation of nutrients in the pepper is highly related to the time of cultivation of the plant, mainly to the productive phenological period, where there is a greater accumulation of nutrients in relation to the other phenophases. The preferred series of nutrient accumulation was N > K > Ca > P > S > Mg > Fe > Zn > Mn > B > Cu at the end of the experiment. Sigmoid-shaped equations are best suited for describing the growth of peppermint, and the sigmoid equation better describes the accumulation of nutrients in the plant.

.

Key words: *Capsicum chinense*, pepper, nutrient accumulation, fruit production.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas do Latossolo Amarelo distrófico argiloso coletado sob mata nativa em subsuperfície (20-40cm) na Embrapa Amazônia Ocidental.	31
Tabela 2. Concentração de macro e micronutrientes fornecidos na adubação básica e em cobertura da pimenteira-de-cheiro (<i>Capsicum chinense</i> Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação em Manaus, AM.	32
Tabela 3. Parcelamento das aplicações de nitrogênio e potássio por meio de soluções nutritivas em pimenteira-de-cheiro (<i>Capsicum chinense</i> Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação em Manaus, AM.	33
Tabela 4. Características químicas do solo cultivado com pimenteira-de-cheiro (<i>Capsicum chinense</i> Jacquin) cv. Lupita durante 200 DAE em casa de vegetação em Manaus, AM.	35
Tabela 5. Equações de regressão propostos para variáveis biométricas e de acúmulo de nutrientes em pimenteira-de-cheiro cv. Lupita (<i>Capsicum chinense</i> Jacquin), em Manaus, AM.	46
Tabela 6. Percentual de macronutrientes em caule, flor, folha fruto, raiz e total da planta de pimenteira-de-cheiro (<i>Capsicum chinense</i> Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação em Manaus, AM.	79
Tabela 7. Percentual de micronutrientes em caule, flor, folha fruto e raiz de pimenteira-de-cheiro (<i>Capsicum chinense</i> Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação em Manaus, AM.	86

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Frutos da categoria C1 da pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita, produzidos em casa de vegetação em Manaus, AM.38
- Figura 2.** Frutos da categoria C2 da pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita, produzidos em casa de vegetação em Manaus, AM.39
- Figura 3.** Frutos da categoria C3 da pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita, produzidos em casa de vegetação em Manaus, AM.39
- Figura 4.** Fase inicial de crescimento (a), formação de ramos (b), formação de botões florais e a primeira bifurcação (c), antese da primeira flor (d), formação do primeiro fruto (e), mudança de coloração do fruto (f) e diferentes tamanhos e formatos de frutos comerciais (g) de pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação, em Manaus, AM.48
- Figura 5.** Fenofases e seus eventos de pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação em Manaus, AM.50
- Figura 6.** Altura (a), diâmetro do coleto (b), número de folhas (c), área foliar da planta (d) e área foliar da folha (e) de plantas de pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação em Manaus, AM.52
- Figura 7.** Número de frutos (a), produção de frutos (b) e peso médio do fruto (c) em cada período de avaliação; número de frutos comerciais (d) e produção acumulada de frutos de pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação em Manaus, AM.56
- Figura 8.** Matéria seca de folhas (a), caule (b) raiz (c), flores (d), peso médio de frutos (e), matéria seca total de frutos (f), matéria seca total da planta (g) e percentual de matéria seca de folha, caule, raiz, flores e frutos (h) de plantas de pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação em Manaus-AM. ...59
- Figura 9.** Taxa de crescimento absoluto (a), taxa de crescimento relativo (b) razão área foliar (c), área foliar específica (d) e razão peso foliar (e) e taxa de assimilação líquida (f) de pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação em Manaus, AM.63
- Figura 10.** Acúmulo (a) e percentual (b) de N em raiz, caule, folha, flor e fruto de pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação em Manaus, AM.67
- Figura 11.** Acúmulo (a) e percentual (b) de P em raiz, caule, folha, flor e fruto de pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação em Manaus, AM.70

Figura 12. Acúmulo (a) e percentual (b) de K em raiz, caule, folha, flor e fruto de pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação em Manaus, AM.73

Figura 13. Acúmulo e percentual de cálcio (a e b), magnésio (c e d) e enxofre (e e f) em caule, folhas, fruto, raiz e flor de pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação em Manaus, AM.76

Figura 14. Acúmulo e percentual de boro (a, b), cobre (c, d), ferro (e, f), manganês (g, h) e zinco (i, j) em caule, folha, fruto, raiz e raiz de pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita, em casa de vegetação em Manaus, AM.83

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	5
2.1. Geral.....	5
2.2. Específicos	5
3. REVISÃO DE LITERATURA	6
3.1. Aspectos gerais da cultura da pimenteira-de-cheiro (<i>Capsicum chinense</i> Jacquin)	6
3.2. Determinação das principais fenofases das plantas.....	7
3.3. Crescimento, características morfofisiológicas e matéria seca das plantas ...	9
3.4. Características físico-químicas dos solos tropicais.....	12
3.5. Importância dos nutrientes no desenvolvimento das plantas	14
3.5.1. Nitrogênio (N)	15
3.5.2. Fósforo (P)	16
3.5.3. Potássio (K).....	18
3.5.4. Cálcio (Ca)	19
3.5.5. Magnésio (Mg)	20
3.5.6. Enxofre (S)	22
3.5.7. Ferro (Fe)	23
3.5.8. Zinco (Zn).....	24
3.5.9. Boro (B).....	25
3.5.10. Cobre (Cu).....	26
3.5.11. Manganês (Mn)	27
3.6. Quantificação do conteúdo de nutrientes por meio da técnica da marcha de absorção de nutrientes.....	28
4. MATERIAL E MÉTODOS	31
4.1. Implantação e condução do experimento	31
4.1.1. Local do experimento	31
4.1.2. Preparo do substrato	31
4.1.3. Semeadura e desbaste	33
4.2. Delineamento experimental	33
4.3. Espaçamento e tratos culturais	34
4.4. Análise do substrato	34
4.5. Avaliação experimental.....	35
4.5.1. Identificação e definição do período das fenofases.....	35
4.5.2. Determinação do crescimento e massa seca da pimenteira-de-cheiro ..	36
4.5.3. Determinação do acúmulo de nutrientes nas partes da planta	42
4.6. Análise estatística.....	44
4.6.1. Análise de variância em delineamento inteiramente casualizado e arranjo experimental simples	45
4.6.2. Análise de variância em delineamento inteiramente casualizado e esquema fatorial 14 x 5 (período x parte da planta).....	45

4.6.3. Análise de variância em delineamento inteiramente casualizado e esquema fatorial 5 x 6 (parte da planta x %macronutriente) e 5 x 5 (parte da planta x %micronutriente)	45
4.6.4. Teste de média e regressão dos dados	45
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
5.1. Caracterização das fenofases de crescimento da pimenteira-de-cheiro	47
5.1.1. Germinação e fase vegetativa	47
5.1.2. Fase reprodutiva	47
5.1.3. Fase de frutificação ou produção	49
5.2. Curvas de crescimento e de acúmulo de matéria seca pela planta	50
5.2.1. Altura, diâmetro do caule, número de folhas, área foliar e da folha	50
5.2.2. Produção de frutos totais e comerciais	53
5.2.3. Produção de matéria seca de caule, folhas, flores, frutos e raiz	56
5.2.4. Variáveis morfofisiológicas	60
5.3. Curvas de acúmulo de macronutrientes em diferentes partes e nas fenofases de crescimento da planta	64
5.3.1. Nitrogênio	64
5.3.2. Fósforo	67
5.3.3. Potássio	70
5.3.4. Cálcio, Magnésio e Enxofre	73
5.3.5. Percentual de acúmulo de macronutrientes	77
5.4. Curvas de acúmulo de micronutrientes em diferentes partes e nas fenofases de crescimento da planta	80
5.4.1. Boro, cobre, ferro, manganês e zinco	80
5.4.2. Percentual de acúmulo de micronutrientes	84
6. CONCLUSÕES	87
7. REFERÊNCIAS	88

1. INTRODUÇÃO

Dentre as espécies de pimentas e pimentões, a pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) da família Solanaceae (LIM, 2013) é uma das espécies mais cultivadas nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. O cultivo desta espécie principalmente no norte brasileiro, em sua grade maioria, é realizado de forma familiar ou por pequenos produtores, e esta produção vem sendo potencializada pelo apreço de seus frutos quanto ao aroma, paladar e usos gerais na culinária amazônica e na indústria alimentícia, farmacêutica e cosmética (BENTO et al., 2007).

Hoje, o cultivo desta espécie expande-se por todo o território nacional, e tal fato está relacionado a sua característica de desenvolvimento em regiões com clima Tropical e Subtropical, a pleno sol e em solos férteis, bem drenados e ricos em matéria orgânica, além da espécie ser de fácil adaptação a diferentes solos e climas (LIM, 2013; MONTEIRO, 2008).

A expansão das áreas cultivadas com pimenteira-de-cheiro e pimentas doces se reflete na aquisição de sementes pelos produtores brasileiros. Em 2009 foram comercializadas cerca de 131,43 kg de sementes de pimentas doces somando um total que corresponde a 453,91 hectares plantados (ABCSM, 2014). No estado do Amazonas em 2013, estimou-se que a produção anual média foi de 18,3 t ha⁻¹ de frutos frescos (ALMUDI e PINHEIRO, 2015). Porém, tais informações não refletem a realidade no comércio de pimentas doces, haja vista que grande parte da comercialização deste produto acontece em mercados locais e regionais e não fazem parte das estatísticas (DOMENICO et al., 2012).

Apesar da expansão do cultivo da pimenteira-de-cheiro nos últimos anos, pouco se conhece sobre as informações agronômicas desta espécie, mais limitado é o conhecimento sobre este morfotipo de pimenteira.

Estudos mostram que as espécies de hortaliças da família Solanaceae, são responsivas ao emprego de tecnologias de cultivo, principalmente àquelas que visam melhorar a condição nutricional do solo, como é o caso do tomateiro (SILVA, et al., 2001; FERREIRA et al., 2003; MACÊDO e ALVARENGA, 2005), beringeleira (CASTRO et al., 2005; MARQUES et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2011), jiloeiro (TORRES et al., 2003; BISCARO et al., 2008), e mais especificamente o gênero *Capsicum*, como o pimentão (ARAÚJO et al., 2009; ALBUQUERQUE et al., 2012; EMONGOR e MABE, 2012) e pimenteiras (OLIVEIRA et al., 2014; CARDOSO et al., 2014; DADA et al., 2016).

Neste sentido, a falta de conhecimento agrônômico bem como os conhecimentos específicos sobre a pimenta-de-cheiro, configuram-se como um dos principais fatores que limitam esta espécie alcançar o seu máximo potencial de desenvolvimento.

Em decorrência desta escassez de conhecimento, novas pesquisas buscam um melhor entendimento do desenvolvimento da pimenteira-de-cheiro, sejam elas pelos aspectos genéticos (FINGER et al., 2010; COSTA et al., 2015; BABA et al., 2016) ou morfofisiológicos (FONTES et al., 2005a; CHARLO et al., 2011).

Tais pesquisas se baseiam em características capazes de serem quantificadas ou qualificadas, muitas delas de fácil observação como as medidas lineares de altura da planta, diâmetro, área foliar, e outras características que podem ser estimadas por meio das medidas lineares, bem como aspectos fisiológicos como taxa de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR), área foliar específica (AFE) e taxa assimilatória líquida (TAL), entre outras variáveis, que são parâmetros fundamentais para entender o comportamento de crescimento das plantas e suas respectivas diferenças (BENINCASA, 1988).

Estas características de crescimento estão intimamente ligadas à necessidade da planta em absorver e acumular nutrientes em suas estruturas, conhecimento este que tem sido um desafio para muitos pesquisadores, dado o princípio que alguns elementos são essenciais para plantas desempenhando funções específicas no metabolismo vegetal (HELL e MENDEL, 2010; DEKOK et al., 2012; KOBAYASHI e NISHIZAWA, 2012; MARSCHNER, 2012).

Essas funções específicas dos nutrientes são variadas, como o nitrogênio (N) e o enxofre (S) que são parte integrante de proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos, clorofila, nucleotídeos e coenzimas (MASCLAUX-DAUBRESSE et al., 2010; MITRA, 2015).

O fósforo (P) que compõe a estrutura dos ácidos nucleicos, energia metabólica, fosfolípidios, participa em reações de fosforilação (SCHEIBLE e ROJAS-TRIANA, 2015), e o potássio (K), que ajuda na manutenção da conformação estrutural das proteínas, atua na abertura e fechamento dos estômatos e como ativador para muitas enzimas (PRAJAPATI e MODI, 2012).

O cálcio (Ca), que participa da estrutura da parede celular, é importante na permeabilidade da membrana celular, atuando ainda como cofator enzimático (WHITE e BROADLEY, 2003); o ferro (Fe), que é importante na síntese de clorofila, citocromos e nitrogenase, e o cobre (Cu) e o magnésio (Mg), que atuam como ativadores enzimáticos (MITRA, 2015).

Estes nutrientes são classificados de acordo com suas funções bioquímicas (KIRKBY, 2012; TAIZ e ZEIGER, 2013) ou de acordo com o maior (macronutrientes) ou menor (micronutrientes) requerimento pela planta (FAGERIA, 2009; KIRKBY, 2012).

Além disso, a planta pode requerer determinado nutriente em menor ou maior quantidade dependendo do período de desenvolvimento ou fase fenológica da planta

(NASCIMENTO, 2009). Este fato pode ser comprovado no gênero *Capsicum* por Fontes et al. (2005b) e Charlo et al. (2012) em cultivo de pimentão.

Logo, a determinação do acúmulo de nutrientes nas diferentes fases do desenvolvimento da planta, permite definir quais épocas os elementos são exigidos em maiores quantidades pela cultura, e a distribuição desses elementos nas diferentes estruturas da planta possibilita um manejo adequado da adubação (NASCIMENTO, 2009).

Uma das ferramentas eficazes para esta padronização é denominada marcha de absorção/acúmulo de nutrientes, que consiste em uma técnica destrutiva de análise vegetal (GRANGEIRO et al., 2007).

Esta técnica se apresenta como de fundamental importância para espécies que não se tem conhecimento, ou informações nutricionais são escassas como para a pimenta-de-cheiro. Ainda geram informações que servem como base para uma recomendação mais adequada à cultura.

Diante disso, esta pesquisa tem por objetivo determinar o crescimento e a curva de acúmulos de nutrientes da pimenteira-de-cheiro (cv. Lupita) definindo a série preferencial de acúmulo de nutrientes em decorrência do período de desenvolvimento, a fim de buscar uma melhor compreensão sobre aspectos de crescimento.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Determinar as fenofases, crescimento e acúmulo de nutrientes pela pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação em Manaus, AM.

2.2. Específicos

- a) Definir a duração das principais fenofases de desenvolvimento da pimenteira-de-cheiro;
- b) Determinar as curvas de crescimento e de acúmulo de massa na pimenteira-de-cheiro;
- c) Verificar o acúmulo de nutrientes nas diferentes partes da planta e em cada fenofase de desenvolvimento da pimenteira-de-cheiro.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Aspectos gerais da cultura da pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin)

A espécie *Capsicum chinense* Jacquin pertencente à família Solanaceae, tem sua origem na Bacia Amazônica sendo introduzida na América Central na região de Yucatam e nas ilhas do Caribe há muitos séculos atrás (LIM, 2013).

Dentre as principais características morfológicas dessa espécie, podem ser citados o seu tamanho reduzido, com muitas ramificações, pode ser anual ou perene com características de subarbusto entre 30-120 cm de altura (LIM, 2013).

Possui folhas e ramos glabros, folhas ovadas a ovado-lanceoladas, largas, macias ou rugosas, de tonalidade variando do verde claro ao escuro. As flores aparecem de três a cinco por nó, com pedicelo pendente, raramente ereto, relativamente curto (SMITH e HEISER, 1957).

A corola verde-amarelada é raramente esbranquiçada, medindo de 0,5 a 1,0 cm de comprimento; anteras azuis, púrpuras ou amareladas. Os frutos podem variar de 1,0 a 13,0 cm de comprimento, com formas variadas, de esféricos a alongados, com diversidade de cores, como salmão, laranja, amarela, vermelha ou marrom (SMITH e HEISER, 1957).

A espécie possui ainda uma peculiaridade em relação as outras espécies, a presença de uma forte constrição anelar, localizada na base do cálice com a sua união com o pedicelo do fruto (CARVALHO e BIANCHETTI, 2008).

Assim como as demais espécies do gênero *Capsicum*, a espécie *C. chinense*, morfotipo pimenteira-de-cheiro desenvolve-se bem em regiões com clima tropical e subtropical, com precipitação anual variando entre 300 a 4.700 mm e com variação

de temperatura entre 7 e 25°C, a pleno sol e em solos férteis, bem drenados e ricos em matéria orgânica (LIM, 2013).

Comercialmente, esta espécie encontra-se distribuída pelas regiões norte a sul do Brasil devido a sua facilidade de adaptação a diferentes solos e climas, e o popular aroma cítrico dos frutos (MONTEIRO, 2008).

Em relação ao aspecto econômico, as espécies do gênero *Capsicum* são cultivadas comercialmente em muitos países, dentre os quais encontra-se o Brasil, sendo utilizado como matéria-prima em diversos segmentos da indústria farmacêutica, cosmética e alimentícia (BENTO et al., 2007).

Dados da Associação Brasileira do Comercio de Sementes e Mudas mostram que em 2009 foram comercializadas cerca de 558,68 kg de sementes de pimentas doces e ardidas somando um total em área cultivada o que corresponde a 1.879,94 hectares plantados (ABCSM, 2017).

Tais informações não refletem a realidade no comercio de pimentas doces, haja vista que grande parte da comercialização deste produto acontece em mercados locais e regionais e não fazem parte das estatísticas (DOMENICO et al., 2012).

Outro aspecto importante a ser ressaltado, está relacionado ao benefício social do cultivo de pimentas. De acordo Pereira (2015), o cultivo de pimentas nas diferentes regiões do país, com algumas exceções, ainda é feito por pequenos agricultores, em um sistema de agricultura familiar. Então surge a importância de se compreender melhor as fases de crescimento e desenvolvimento da pimenta-de-cheiro, a fim de adequar tecnologias que proporcionem melhor custo benefício aos produtores.

3.2. Determinação das principais fenofases das plantas

Nas plantas, a germinação, emergência das plântulas, formação de brotações, expansão foliar, abscisão, floração, frutificação, e dispersão de sementes, ocorrem em seu devido período no desenvolvimento vegetativo da planta (FENNER, 1998).

As observações da fenologia das plantas foram estabelecidas há muito tempo como forma de mensurar esse desenvolvimento vegetal, através das características morfológicas e fisiológicas e sua inter-relação com fatores bióticos e abióticos em uma ou diferentes espécies (LIETH, 1974).

Para o gênero *Capsicum*, estudos de cunho genético mostram que há diferença nos períodos fenotípicos de morfotipos ou cultivares dentro de uma mesma espécie. Este fato foi observado por Sudré et al. (2010) ao comparar o período em dias para a floração de espécies e morfotipos do gênero *Capsicum*. Diferença também observada por Costa et al. (2015) quando compararam o período em dias para a frutificação de acessos de *C. baccatum*, *C. chinense* e *C. frutescens*.

Castro e Dávila (2008) observaram que em espécies do gênero *Capsicum* como *C. annuum*, floresce, em média, com 85 dias após a semeadura (DAS), *C. baccatum* floresce com 117 DAS, *C. chinense* floresce com 93 DAS e *C. frutescens* floresce com 85 DAS.

Medina-Lara et al. (2008) avaliando o efeito de doses de N e K em *C. chinense*, constataram que plantas com maior fornecimento de N floresceram aos 49 DAT, duas semanas antes nas plantas adubadas somente com K.

Domenico et al. (2012) avaliando diferentes acessos de *C. chinense* obtiveram uma variação no período de florescimento entre 95 e 118 DAS. Costa et al. (2015) avaliando acessos de *Capsicum* em Manaus, AM, encontraram uma variação no florescimento entre 60 a 90 DAS

Além das observações fenológicas, as técnicas de mensuração do crescimento vegetal contribuem para o melhor entendimento do comportamento da planta a diferentes fatores que podem influenciar o desenvolvimento vegetal.

3.3. Crescimento, características morfofisiológicas e matéria seca das plantas

O emprego destas técnicas de análise de crescimento nos remetem a medidas exatas que fazem referência ao desenvolvimento das plantas de acordo com as condições de cultivo (HUNT, 2003; POHL, 2008; SANTOS et al., 2015).

E a partir de tais informações, se é possível analisar a contribuição dos diferentes órgãos vegetais no crescimento total da planta, e permite ter um entendimento do comportamento de cada uma de suas estruturas (BENINCASA, 1988).

O conjunto metodológico de análise é uma aproximação explicativa, holística e integrativa usada para caracterizar morfológicamente a planta e seu uso (HUNT et al., 2002).

Estes dados quantificam a massa vegetal distribuída entre folhas, colmos, raízes e frutos e a dimensão do órgão fotossintetizante, representado na forma de área foliar, e obtidos em intervalos regulares de tempo durante o desenvolvimento fenológico da planta (PEREIRA e MACHADO, 1987; URCHEI et al., 2000).

Tais índices gerados a partir das análises de crescimento indicam a capacidade das plantas em sintetizar, a partir do seu órgão fonte, e alocar compostos orgânicos fotoassimilados em diversos locais de utilização ou armazenamento (dreno) onde ocorrem o crescimento ou diferenciação dos tecidos.

Exemplos de aplicabilidade de índices de crescimento são comuns em estudo do comportamento vegetal com Domenico et al. (2012) observando o crescimento de acessos de pimenteira-de-cheiro em condições de campo, os quais obtiveram altura máxima de 172,0; 147,0 e 146,0 cm para os acessos IAC 1547, IAC 1548 e IAC 1592, respectivamente, aos 300 dias de cultivo.

Lima et al. (2017) observaram que a *C. chinense* morfotipo pimenta-de-cabra aos 50 dias após o transplântio (DAT) alcança a altura entre 36 a 49 cm, e um diâmetro do coleto entre 4,7 e 5,8 mm; e aos 84 DAT pode ter uma altura de até 70,56 e um diâmetro de 7,76 mm.

Os índices determinados na análise sugerem a capacidade do sistema assimilatório das plantas em sintetizar (fonte) e alocar a matéria orgânica nos diversos órgãos (dreno) que dependem da fotossíntese, respiração e translocação de fotoassimilados dos sítios de fixação de carbono aos locais de utilização ou de armazenamento, onde ocorrem o crescimento e a diferenciação dos órgãos (FONTES et al., 2005a; POHL, 2008).

A taxa de crescimento absoluto (TCA) - Segundo Reis e Muller (1979), é a variação ou incremento entre duas amostragens ao longo de um determinado período de tempo, sendo representado pela equação $TCA = (MS2-MS1)/(T2-T1) = g.dia^{-1}$, onde MS representa a matéria seca no período em dois períodos diferentes de coleta de dados, e T representa dois períodos de tempo em que ocorreram as coletas.

A taxa de crescimento relativo (TCR) expressa o incremento na massa de matéria seca, por unidade de peso inicial, em um intervalo de tempo (REIS e MULLER, 1979). Neste caso usa-se a função $TCR = (lnMS2 - lnMS1) / (T2 - T1)$ em $g.g^{-1}.dia^{-1}$, onde ln é o logaritmo neperiano; MS1 e MS2 representam a matéria seca nos tempos T1 e T2.

A taxa assimilatória líquida (TAL) reflete a dimensão do sistema assimilador que é envolvida na produção de matéria seca, porém só deve ser aplicada quando há correlação linear entre área foliar e matéria seca total da planta (BENINCASA, 1988). Este parâmetro é representado pela equação $TAL = (MS2 - MS1) \times (\ln AF2 - \ln AF1) / (AF2 - AF1) \times (T2 - T1)$ em $g \cdot cm^{-2} \cdot dia^{-1}$ onde temos a matéria seca total (MS1 e MS2), a área foliar (AF1 e AF2) em dois períodos de tempo (T1 e T2).

A razão área foliar (RAF) representa a área foliar necessária para se produzir 1,0 g de matéria seca (BENINCASA, 1988) e é dada pela equação $RAF = AF/MS$ em $cm^2 \cdot g^{-1}$ onde AF é a área foliar e MS representa a matéria seca total.

Área foliar específica (AFE) indica a área foliar necessária para se ter 1,0 g de matéria seca de folha, e seu inverso pode indicar o espessamento da folha (BENINCASA, 1988), cuja equação é $AFE = AF/MSF$ em $cm^2 \cdot g^{-1}$ onde AF é a área foliar e MSF é o peso da matéria seca da folha.

Razão massa foliar (RMF) segundo Benincasa (1988) é uma variável puramente fisiológica, e representa a quantidade de produtos fotoassimilados na forma de matéria seca que não foram exportados para outras partes da planta. É estimada pela equação $RMF = MSF/MS$ em $g \cdot g^{-1}$ onde MSF representa a matéria seca de folhas e MS a matéria seca total.

Tais parâmetros nos fornecem um maior conhecimento dos processos de crescimento das plantas, porém isto ocorre de forma diferenciada em cada espécie, sendo desconhecidas tais características para *C. chinense*, e como ela se relaciona com os nutrientes retidos na planta em cada período de desenvolvimento desta espécie.

A aplicabilidade destes parâmetros fisiológicos pode ser comprovada em diversos estudos de desenvolvimento de plantas do gênero *Capsicum*, entre os quais Jaimez e Rada (2015) em estudo com *C. chinense* cv. Pépon, constataram uma TCR

de 25, 50 e 45 mg g⁻¹ dia⁻¹ de folha, caule e raiz, no período entre 50 e 76 DAT, e para frutos de 52 mg g⁻¹ dia⁻¹ no período de 76 a 89 DAT.

Dada e Ogunesu (2016) em cultivo de duas variedades de *C. chinense*, sob efeito de diferentes formas de aplicação de composto orgânico, obtiveram uma TCA, TCR e TAL de 1,98 g g⁻¹ dia⁻¹; 0,07 g g⁻¹ dia⁻¹ e 0,02 g cm⁻² dia⁻¹ para variedade Landrace, e 1,90 g g⁻¹ dia⁻¹; 0,01 g g⁻¹ dia⁻¹ e 0,01 g cm⁻² dia⁻¹ para a variedade NHCaC9.

Charlo et al. (2011) em cultivo de *C. annuum* obtiveram as máximas AFE aos 42 DAT com 136,26 cm² g⁻¹; a TCA de 4,47 g planta⁻¹ dia⁻¹ aos 168 DAT; e com TCR de 0,40 g g⁻¹ dia⁻¹ aos 42 DAT.

Deste modo, os aspectos fisiológicos de crescimento e a quantificação dos nutrientes retidos na planta integram conhecimentos que ajudam a fornecer uma visão mais aprofundada do comportamento morfofisiológico e nutricional da pimenteira-de-cheiro.

No entanto, a pimenteira-de-cheiro por ser originária da região amazônica (LIM, 2013) pode ter seu desenvolvimento restringido pela limitação nutricional comumente encontrado nos solos tropicais, o que pode afetar processos fisiológicos fundamentais ao desenvolvimento e produção vegetal

3.4. Características físico-químicas dos solos tropicais

Os solos tropicais são geralmente considerados altamente intemperizados, o que é atribuído às condições climáticas de altas temperaturas, precipitação pluvial e idade cronológica dos mesmos. E, no caso das áreas de terra firme da Amazônia, aproximadamente 75% dos solos são Latossolos Amarelos e Vermelho-Amarelos, além de Argissolos Vermelhos-Amarelos (LEPSCH, 2002).

Estes são caracterizados como solos profundos, bem drenados, em geral com boas propriedades físicas, mas de baixa fertilidade natural (LUDWIG et al., 2001; LEPSCH, 2002).

Segundo Vieira e Santos (1987), os Latossolos são descritos como bastante intemperizados, com elevada acidez, altos teores de óxidos de Fe e Al, argilas 1:1, baixos valores de saturação por bases e CTC, características essas que os classificam como solos com baixa disponibilidade de nutrientes, sendo uma condição adversa para a estabilidade de mudas recém-transplantadas no campo.

Dessa forma, faz-se necessário, portanto, um fornecimento tanto de corretivo quanto de fertilizantes para que esses solos possam entrar no processo produtivo.

De maneira bastante semelhante, os Argissolos são fortes a moderadamente ácidos, com saturação por bases alta ou baixa, predominantemente cauliníticos (EMBRAPA, 2006). Na Amazônia há predominância de Argissolos altamente intemperizados, com fortes limitações nutricionais, além de serem ácidos e apresentarem toxidade de Al (FALCÃO e SILVA, 2004).

Ao considerar que os povoamentos florestais da região amazônica são estabelecidos nestas condições, o solo torna-se um fator limitante para a produtividade e sustentabilidade de sistemas de produção agrícola (CUNHA et al., 2007), entre os quais o da pimenta-de cheiro.

Portanto, de modo geral, os solos de terra firme da Amazônia, são distróficos ou álicos, com os teores de Ca em valores próximos a $0,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ assim como o Mg trocável com teores menores que $0,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. A saturação de Al, em sua grande maioria, é superior a 50% e a saturação por bases menor que 50% (RIBEIRO et al., 1999).

Os teores de elementos básicos como K, Ca e Mg e do P também estão abaixo dos valores críticos utilizados na interpretação da análise do solo (RIBEIRO et al.,

1999), o qual juntamente com o elevado teor de Al, representa um dos maiores empecilhos para o desenvolvimento radicular, afetando negativamente o desenvolvimento das plantas (DEMATTÊ, 1988; MOREIRA e MALAVOLTA, 2002).

No entanto, apesar da baixa fertilidade natural, baixa soma de bases, baixa capacidade de troca de cátions e baixo índice de saturação, esses solos respondem muito bem à adubação (FALESI, 1972), necessitando apenas estabelecer os critérios de manejo como a quantidade, tipo de fertilizante, época e forma de aplicação, bem como as espécies a serem cultivadas.

3.5. Importância dos nutrientes no desenvolvimento das plantas

Segundo Epstein e Bloom (2006), a presença de um elemento na planta não significa por si só que ele tem um papel essencial no desenvolvimento da mesma. Estes autores descrevem como elemento essencial aquele que faz parte de uma molécula que é um componente intrínseco da estrutura ou do metabolismo da planta, sendo que esta exibe anormalidades em seu crescimento, desenvolvimento e reprodução se privada do referido elemento.

De acordo com Malavolta (2006) e Dechen e Nachtigall (2006), as plantas necessitam para completar seu ciclo de vida de 17 elementos essenciais (nutrientes), entre esses encontram-se o carbono, hidrogênio e oxigênio proveniente do ar e da água. Além desses, são considerados como essenciais outros 14 elementos, divididos, conforme a quantidade exigida pela planta: os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e os micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Cl, Mo e Ni).

Diferentemente dos três nutrientes citados primeiramente, que são fornecidos pelo ar e água, estes últimos são fornecidos às plantas pelo solo (MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012), no entanto, como os solos tropicais, via de regra, são

caracterizados pela baixa fertilidade (FALCÃO e SILVA, 2004), a nutrição das plantas cultivadas nesses ambientes, deve ser realizada através da adubação.

Desta forma, o fornecimento dos nutrientes é de fundamental importância, dada as funções específicas que os mesmos exercem nas plantas, podendo ser divididos em: estrutural, constituinte de enzimas e ativador enzimático (TAIZ e ZEIGER, 2013; MITRA, 2015), que garantem adequado crescimento, desenvolvimento e produção, além de aumentar a resistência da planta ao ataque de pragas e doenças (SILVA, 2010).

3.5.1. Nitrogênio (N)

O N é um dos elementos minerais requeridos em maior quantidade e o que mais limita o crescimento vegetal (SOUZA e FERNANDES, 2006). De forma geral, a concentração estimada deste nutriente do tecido vegetal é de $15,0 \text{ g kg}^{-1}$ de matéria seca, sendo constituinte de todos os aminoácidos, amidas, proteínas, ácidos nucléicos, nucleotídeos, poliaminas e vários outros tipos de entidades metabólicas (TAIZ e ZEIGER, 2013).

Esse nutriente atua em processos como absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular, sendo fundamental no crescimento, na formação vegetativa da planta e na produção (KLIEMANN et al., 1986; MALAVOLTA et al., 1989; BAUMGARTNER, 1987), estimulando o desenvolvimento de gemas floríferas e frutíferas e aumentando o teor de proteínas (MALAVOLTA et al., 1989).

Além disso, quantidades adequadas de N estimulam o crescimento da parte aérea e raiz, com as quantidades adequadas, a planta ganha maior área foliar, maior absorção de nutrientes e cresce mais vigorosa (PINTO et al., 2001).

Segundo Faquin (2005), com o crescimento foliar a planta possui a capacidade de interceptar maior quantidade de luz, resultando em aumento da capacidade fotossintética da mesma.

De acordo com Fernandes (2006), sua deficiência resulta em clorose gradual das folhas mais velhas e redução do crescimento da planta, ainda, com o detrimento das reservas da parte aérea, a planta promove alongamento do sistema radicular, como uma tentativa de buscar o nutriente. Por outro lado, altos níveis de N podem proporcionar efeito depressivo no desenvolvimento das plantas.

Estudos com espécies do gênero *Capsicum* mostram a capacidade das diferentes espécies em aproveitar e reter N em sua estrutura vegetal

Macussi et al. (2004) em *C. annuum* cv. Elisa, observaram que em uma planta com 240 g de matéria seca, há acúmulo de 6,6 g de N, onde 2,4 g estavam retidos nos frutos. Fontes et al. (2005a) obtiveram em cultivo de pimentão, acúmulo de 11,5 e 4,6 g planta⁻¹ de N na parte aérea e no fruto.

Charlo et al. (2012), cultivando pimentão em solução nutritiva verificaram um acúmulo de 8,2 g planta⁻¹ de N aos 189 dias após o transplantio (DAT), com 4,2 g retido nos frutos. Silva (2012) avaliando acúmulo de nutrientes em pimentão enxertado, constatou um acúmulo de N no fruto de até 2,4 g planta⁻¹ em uma massa seca de fruto aproximada de 140 g planta⁻¹.

3.5.2. Fósforo (P)

O P é um dos elementos fundamentais nos sistemas biológicos sendo o segundo macronutriente mais importante ao lado de N em limitar o crescimento das

culturas (NOVAIS e SMYTH, 1999; WHITE e HAMMOND, 2008; BALEMI e NEGISHO, 2012).

O P está envolvido numa variedade de processos metabólicos das plantas, como fotossíntese e respiração, e como componente integral de várias estruturas de plantas, tais como fosfolipídios, compondo parte do material genético. Além disso, a ligação éster de fosfato é universalmente utilizada para reações de transferência de energia nos organismos (SCHACHTMAN et al., 1998; VANCE et al., 2003; WHITE e HAMMOND, 2008; TAIZ e ZEIGER, 2013).

As plantas retiram e concentram aproximadamente $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ de P da solução do solo, 100 mg L^{-1} de P na seiva do xilema e 4.000 mg kg^{-1} de P em sementes. Podem acumular até 2,0% de P na matéria seca da planta (WHITE e HAMMOND, 2008; MARSCHNER, 2012).

O P é o macronutriente menos acessível e mais frequentemente deficiente na maioria dos solos agrícolas, devido a sua baixa disponibilidade e sua má recuperação dos fertilizantes aplicados (BALEMI e NEGISHO, 2012).

A baixa disponibilidade de P deve-se a formação de complexos insolúveis com cátions como Al e Fe em condição ácida do solo (VANCE et al., 2003), e, com Ca sob as condições de solo alcalinas (HOPKINS e ELLSWORTH, 2005),

No entanto, a baixa recuperação de P deve-se ao fato de que este elemento aplicado sob a forma de fertilizantes é adsorvido principalmente pelo solo, e não está disponível para as plantas que não possuem adaptações específicas, sendo necessário primeiramente saturar os componentes responsáveis pela fixação do P (FURTINI NETO et al., 2001; BALEMI e NEGISHO, 2012).

Os sintomas de deficiência de P ocorrem primeiramente nas folhas mais velhas com desenvolvimento de uma coloração verde ou verde azulado escuro nas folhas, e apresentar também a coloração vermelho, podendo desenvolver pigmentos roxo ou

marrom em folhas, especialmente ao longo das nervuras. Esta é uma consequência da produção de antocianina, que é induzida pelo aumento das concentrações de sacarose nas folhas (MÜLLER et al., 2005; TENG et al., 2005; AMTMANN et al., 2006; SOLFANELLI et al., 2006).

A deficiência severa de P gera anormalidades dos cloroplastos, também ocorre redução no número de grana e afeta sua morfologia, esta deficiência também reduz gradualmente as taxas de divisão celular, a expansão celular, fotossíntese e respiração, e as mudanças na abundância de C, N e S metabolitos e concentrações de substâncias reguladores de crescimento de plantas (MARSCHNER, 2012).

Os sintomas de deficiência de P se refletem na redução do crescimento da planta que consequentemente reduzem o perfilhamento, induzem uma dormência prolongada com senescência precoce das folhas, além de reduzir o tamanho e número de flores e botões (MENGEL e KIRKBY, 2001; MARSCHNER, 2012).

Em pesquisa com pimentão, Silva et al. (2001), encontraram um acúmulo de aproximadamente de 500,0 mg de P na parte aérea aos 238 dias de cultivo, dos quais 90% estavam retidos no fruto.

Macussi et al. (2004) observaram que o pimentão Elisa, teve um acúmulo de 720,0 mg planta⁻¹ de P, com mais de 50% do P contidos nos frutos. Fontes et al. (2005) obtiveram um acúmulo crescentes de P na parte aérea de 1,39 g planta⁻¹ e no fruto de e 837 mg planta⁻¹ de P.

Charlo et al. (2012), obtiveram o maior acúmulo de P na planta contido nos frutos com 820,0 mg planta⁻¹ de um total de 1,14 g planta⁻¹ aos 189 dias após o transplantio (DAT).

3.5.3. Potássio (K)

Quanto ao K, este é o segundo nutriente mineral requerido em maior quantidade pelas culturas, estando sua concentração média em valores próximos a 10 g kg^{-1} da matéria seca vegetal (DECHEN e NACHTIGALL, 2006).

Este tem importante função no estado energético da planta, na translocação e no armazenamento de assimilados e na manutenção de água nos tecidos vegetais e ativador de muitas enzimas (MENGEL e KIRKBY, 2001; MEURER, 2006; MARSCHNER, 2012).

É um elemento altamente móvel no floema e de eficiente utilização devido à capacidade de redistribuição de folhas mais velhas para órgãos mais novos (MALAVOLTA, 1980; RAIJ, 1991), além disso, o K está diretamente relacionado com a qualidade dos produtos vegetais (MALAVOLTA, 1994; CRESTE, 2005).

O sintoma de deficiência se assemelha ao de N e Mg, agindo primeiramente em folhas mais velhas, inicia como uma clorose e rapidamente evolui para lesões necróticas (MARENCO e LOPES, 2009).

Estudos mostram que grande parte do K em espécies do gênero *Capsicum* estão retidos no fruto como relatado por Macussi et al. (2004) no pimentão ao verificarem $6,4 \text{ g planta}^{-1}$ de K, com $2,0 \text{ g planta}^{-1}$ de K retido nos frutos. Fontes et al. (2005b) observaram um acúmulo crescente de P alcançando o valor máximo de 14,9 e $5,9 \text{ g planta}^{-1}$ de K.

Charlo et al. (2012), em cultivo de pimentão alcançaram um total acumulado de $7,8 \text{ mg planta}^{-1}$ de K, que representa uma extração de $196,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de K (25.000 plantas ha^{-1}).

3.5.4. Cálcio (Ca)

O Ca ocupa funções diferentes no metabolismo das plantas superiores sendo essencial para o alongamento celular e divisão celular (BURSTROM, 1968), estando envolvido nas funções das membranas, com efeitos sobre enzimas, paredes celulares, fito-hormônios; como um íon divalente, o Ca é não só capaz de formar complexos intramoleculares, mas também é capaz de ligar moléculas em complexos intermoleculares (PILBEAN e MORLEY, 2007).

O nível ideal de Ca na matéria seca da planta está entre 5-30 mg g⁻¹ de matéria seca (MENGUEL e KIRKBY, 2001). Quando fornecido em elevadas concentrações este elemento pode chegar a mais de 10% do peso seco, por exemplo, em folhas maduras, sem sintomas de toxicidade grave ou a inibição do crescimento das plantas (MARSCHNER, 2012).

Os sintomas de deficiência de Ca ocorrem primeiramente nas regiões meristemáticas, como brotos e folhas jovens (MENGUEL e KIRKBY, 2001). De acordo com Wyn Jones e Lunt (1967), três sintomas principais comumente resultam da deficiência de Ca: o baixo nível de Ca pode resultar em um escurecimento e enrolamento das margens das folhas apicais, levando a necrose aguda e a interrupção do crescimento, além de que, a deficiência desse elemento pode alterar ou causar a toxidez por outros íons como K, Mg e outros micronutrientes, possivelmente por alterar a permeabilidade da membrana celular, e, por último, a podridão ou fundo preto sintoma mais marcante nas espécies frutíferas.

Nestes distúrbios, a escassez de Ca nos tecidos provoca um colapso geral da estrutura da membrana celular e da parede, permitindo o vazamento dos precursores fenólicos para o citoplasma (STOREY et al., 2002).

3.5.5. Magnésio (Mg)

O Mg desempenha importantes papéis fisiológicos e moleculares nas plantas, um exemplo disso é seu papel fundamental como componente da molécula de clorofila, e atua como cofator para muitos processos enzimáticos associados à fosforilação, desfosforilação e a hidrólise de vários compostos orgânicos e como um estabilizador estrutural para vários nucleotídeos (MERHAUT, 2007; EI-SAADYT et al., 2011; MARSCHNER, 2012).

Cerca de 15 a 30% do Mg total em plantas estão associados com a molécula de clorofila (NEALES, 1956; SABREEN et al., 2003), enquanto 70 - 85% do Mg estão relacionados ao papel de cofator em vários processos enzimáticos, a regulação dos canais de membrana e receptor de proteínas (MATSUDA et al., 1991; TAIZ e ZEIGER, 2013) e ainda ao papel estrutural na estabilização de proteínas e as configurações de cadeias de DNA e RNA (HORLITZ e KLAFF, 2000). Por ser Mg um componente integrante da molécula de clorofila, logo, os processos enzimáticos associados à fotossíntese, à respiração e à assimilação de transformações de carbono e de energia serão diretamente afetados pela deficiência de Mg (MERHAUT, 2007).

Sintomas de deficiência de Mg iniciam-se com acumulação de amido nas folhas (MEHNE-JAKOBS, 1995), possivelmente associada com a redução do crescimento da planta e diminuição da alocação de carboidratos a partir de folhas em desenvolvimento (FISCHER e BREMER, 1993). Este processo é seguido pelo aparecimento de clorose nas folhas mais velhas, padrões que podem ser explicadas pelos processos fisiológicos associados com a absorção de Mg, translocação e metabolismo em plantas (MEHNE-JAKOBS, 1995).

Os primeiros sintomas de deficiência de Mg podem ser observados pelo clareamento e amarelecimento das pontas das folhas mais velhas, que progride de forma internerval para a base da nervura mediana de folhas, dando um aspecto manchado ou espinha de peixe (FISCHER e BREMER, 1993; MENGEL e KIRKBY,

2001; MARSCHNER, 2012). Em dicotiledôneas a deficiência de Mg se desenvolve em forma de V como resultado de Mg dissociando a clorofila, o que resulta na degradação da clorofila; em coníferas, os sintomas iniciam-se pelo escurecimento das pontas das agulhas mais velhas e progride para marrom em estágio mais avançado de deficiência; algumas plantas podem apresentar um avermelhamento das folhas, em vez de clorose (MERHAUT, 2007).

3.5.6. Enxofre (S)

O S é um dos elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas, onde seu teor total nas partes vegetativas das culturas varia entre 0,1 a 2,0% do peso seco (HANEKLAUS et al., 2007).

O S e o N são fortemente inter-relacionados e dependentes e em níveis adequados de S a relação N/S orgânico é em torno de 20:1, sendo que na maioria das espécies de plantas a maior proporção de S (aproximadamente 70% do S total) está presente na forma reduzida nos resíduos de proteínas como cisteína e metionina (YAMAGUCHI e SANO, 2001) além disso, as plantas contêm uma grande variedade de outros compostos orgânicos de S, tais como tióis (glutathiona) e os sulfolípidios. Em algumas espécies podem conter os assim chamados compostos de S, tais como os glucosinolatos (SCHNUG, 1998; De KOK et al., 2012).

A deficiência de S resulta em uma inibição na síntese da cisteína e metionina que são estruturas necessárias para a formação de proteína, portanto, as proteínas não podem ser sintetizadas. Por esta razão os aminoácidos que não contem S em sua estrutura, acumulam-se em tecidos (SCHNUG, 1998).

Logo, a acumulação de amida em plantas deficientes em S está associada com baixos níveis de açúcares, e estas baixas concentrações de açúcar resultam em uma

baixa atividade fotossintética em plantas deficientes em S de modo que tornam-se cloróticas, o desenvolvimento é restringido, e em geral, o crescimento dos brotos é mais afetado do que o crescimento da raiz, sendo que frequentemente as plantas são rígidas e quebradiças e as hastes permanecem finas (MENGEL e KIRKBY, 2001). Em culturas em que o sintoma de deficiência de S se assemelhe ao de N, a análise foliar torna-se indispensável (MARSCHNER, 2012).

3.5.7. Ferro (Fe)

O Fe é considerado um micronutriente essencial para o metabolismo das plantas cuja concentração adequada para o desenvolvimento das plantas está em torno de 100 mg.kg^{-1} de Fe na matéria seca vegetal (MARSCHNER, 2012).

Uma concentração inferior a $1,0 \text{ } \mu\text{M g}^{-1}$ deste elemento na matéria seca da planta poderá causar deficiência, assim como uma concentração acima de $10 \text{ } \mu\text{M g}^{-1}$ pode causar toxicidade com a redução dos parâmetros de crescimento (MITRA, 2015).

No entanto, esses limites podem variar consideravelmente entre diferentes espécies de plantas e seus genótipos. Cerca de 75% de Fe de células estão associados com o cloroplasto, e até 90% de Fe nas folhas são associados com lipoproteínas de membranas de cloroplastos e mitocôndrias (HAVLIN et al., 2007).

Dentre os micronutrientes considerados essenciais, o Fe é o elemento exigido em quantidade (RÖMHELD e NIKOLIC, 2007), sendo justificada pelos vários processos importantes que atua, incluindo a fotossíntese, respiração, e a biossíntese de clorofila, e é um componente em heme, o conjunto de Fe-enxofre, e outros locais de ligação a Fe (RÖMHELD e NIKOLIC, 2007; MARSCHNER, 2012; TAIZ e ZEIGER, 2013).

A deficiência de Fe provoca uma série de mudanças bioquímicas e morfológicas que incluem morfogênese dos pelos radiculares, desorganização ultraestrutural dos cloroplastos e mitocôndrias, aumento da síntese de ácidos orgânicos e compostos fenólicos e ativação do sistema radicular para aumentar sua capacidade de absorção de Fe (MARSCHNER, 2012; MITRA, 2015).

Por não ser um elemento móvel na planta, a deficiência de Fe provoca clorose nas folhas jovens, que se transformam completamente clorótica e necrótica com o tempo em condições deficientes graves (DUCA, 2015; MITRA, 2015)

3.5.8. Zinco (Zn)

O Zn é um micronutriente fundamental no crescimento das plantas, e a concentração adequada deste nutriente situa-se entre 25-150 $\mu\text{g g}^{-1}$ de Zn na matéria seca vegetal, e 15-20 μg de Zn por grama de folhas de tecidos de folhas secas leva a deficiência (MITRA 2015).

O Zn ocupa uma importante função na fotossíntese, por estar presente na enzima carbohidrase, que participa na fixação de CO_2 ; ainda é parte de determinadas enzimas, tais como a fosfatase, aldolase, carboxipeptidase, e participa na ativação de várias enzimas, como desidrogenases, enolase, lecitinases (DUCA, 2015).

Participa na biossíntese de proteínas, ácidos nucleicos, vitaminas, certas clorofilas e triptofano, além de facilitar um aumento das quantidades de carboidratos solúveis nas folhas e reduz a intensidade da respiração. Ele determina o crescimento de protoplasma, viscosidade, reduzindo as quantidades de água livre na célula. É absorvido a partir da solução do solo em plantas sob a forma de Zn^{2+} (MENGEL e KIRKBY, 2001; STOREY, 2007; MARSCHNER, 2012; DUCA, 2015).

A sensibilidade da planta à reduzida disponibilidade deste elemento pode variar de acordo com a idade da planta, tipo de espécie, e uma série de outros fatores externos. Os sintomas de deficiência de Zn incluem folhas cloróticas, senescência precoce e atrofiamento, pois os meristemas necessitam de uma concentração elevada de Zn para o crescimento ótimo (MARSCHNER, 2012; MITRA, 2015).

3.5.9. Boro (B)

O B é geralmente considerado um elemento imóvel. Uma vez que é depositado numa folha não é removido e retranslocado para outros órgãos, tais como folhas novas ou frutos em desenvolvimento (ORTELI, 1993; XU et al., 2007).

Este elemento está envolvido no metabolismo de muitos compostos orgânicos essenciais das plantas entre os quais estão os ácidos nucleicos, hidratos de carbono e proteínas, ácido acético indol, fenol, na síntese da parede celular e da estrutura, como na função e integridade da membrana (OZTURK, 2010; MARSCHNER, 2012).

É um micronutriente essencial para as plantas, e requerido em níveis diferentes de acordo com cada espécie. Ocupa importante papel em funções fisiológicas da planta como a absorção de Ca^{2+} , translocação de água a partir de raízes para as porções superiores do corpo da planta, as vias metabólicas, ação hormonal, e translocação de açúcar, a germinação do pólen, desenvolvimento da raiz, flor e a formação de frutos, crescimento e funcionamento normal do meristema apical e a estrutura da membrana (ABDULNOUR et al., 2000; LIU et al., 2000; TANAKA e FUJIWARA, 2008).

A deficiência de B afeta as porções das regiões de crescimento das plantas como meristemas apicais e folhas novas, ao invés de tecidos mais antigos. Os sintomas de deficiência de B incluem a cessação de alongamento da raiz, reduzida

expansão foliar, e a perda da fertilidade (DELL e HUANG, 1997; MIWA e FUJIWARA, 2010; MARSCHNER, 2012).

Pesquisas sugerem que a deficiência de B afeta o alongamento celular e não a divisão, assim como afeta a estrutura da membrana celular (DELL e HUANG, 1997; MIWA e FUJIWARA, 2010).

Os sintomas visíveis de toxidez de B incluem necrose das regiões marginais das folhas, resultante do acúmulo de B ao longo do fluxo de transpiração; a redução das concentrações de clorofila, e do crescimento, e também a diminuição da fixação de CO₂ (MIWA e FUJIWARA, 2010)

3.5.10. Cobre (Cu)

O Cu é um elemento essencial para as plantas, atuando de forma insubstituível em uma variedade de enzimas vitais ao metabolismo celular, sendo que a maioria das metaloenzimas contendo Cu estão envolvidas na catálise de reações redox, em que O₂ é o aceptor de elétrons, sendo reduzida a H₂O₂ ou H₂O (FERNANDES e HENRIQUES, 1991).

Este elemento não é facilmente realocado de folhas mais antigas para os tecidos mais jovens, por isso, em caso de deficiência de Cu, folhas jovens, meristemas e tecidos reprodutivos são afetadas antes de folhas mais velhas mostrarem sinais, assim indicando que grande parte do Cu alocado em tecidos reprodutivos, provavelmente vem diretamente das raízes (WATERS e GRUSAK, 2008; COHU e PILON, 2010; MARSCHNER, 2012).

No entanto, há indícios de que íons de Cu sejam realocados por quelantes de folhas mais velhas para as mais jovens e para os tecidos reprodutivos por movimento simplástico (COHU e PILON, 2010).

O processo de floração é o mais afetado pela deficiência de Cu, mesmo apresentando aparência enrugada em caules e folhas (MARSCHNER, 2012; YRUELA, 2005).

Os sintomas de deficiência de Cu incluem a diminuição da taxa de crescimento, clorose de folhas jovens, enrugamento das bordas da folha, e danos ao meristema apical, bem como uma diminuição na formação de frutos (EPSTEIN e BLOOM, 2006; MARSCHNER, 2012).

Em deficiência severa pode reduzir a lignificação dos tecidos do xilema, comprometer a formação e viabilidade do pólen, frutos e a produção e viabilidade das sementes (BURKHEAD et al., 2009)

3.5.11. Manganês (Mn)

O Mn está envolvido em muitas funções bioquímicas (TAIZ e ZEIGER, 2013), com papel fundamental na ativação de enzimas como as desidrogenases, transferases, hidroxilases, e descarboxilases envolvidas na respiração, de aminoácidos e síntese de lignina, e as concentrações de hormônios, mas em alguns casos pode ser substituído por outros íons de metal como o Mg (HUMPHRIES et al., 2007).

Este elemento tem papel fundamental em processos redox que ocorrem nos sistemas de transporte de elétrons da fotossíntese, além da evolução fotossintética do O₂ nos cloroplastos (MENGEL e KIRKBY, 2001).

Deste modo, a inibição da fotossíntese ocorre mesmo na deficiência de Mn moderada; contudo, não afetando a ultraestrutura do cloroplasto ou provoca o colapso do cloroplasto até que se atinja a deficiência severa (HUMPHRIES et al., 2007).

O Mn interfere na absorção, transporte e utilização de vários elementos essenciais incluindo Ca, Fe, Cu, Al, Si, Mg, K, P e N, e seu excesso de Mn reduz a absorção de certos elementos e aumenta a dos outros (MUKHOPADHYAY e SHARMA, 1991).

A deficiência de Mn afeta a produção de matéria seca; a fotossíntese e o teor de clorofila declinam rapidamente, enquanto as taxas de respiração e transpiração permanecem inalteradas, e tornando as plantas mais suscetíveis a danos causados por temperaturas congelantes, uma série de doenças fúngicas como o apodrecimento da raiz por fungos originários do solo (MARSCHNER, 2012).

Este papel crucial de cada nutriente tem influência direta sobre as características de desenvolvimento do vegetal, que por sua vez refletem diretamente nas respostas fisiológicas da planta, resultando em seu crescimento.

3.6. Quantificação do conteúdo de nutrientes por meio da técnica da marcha de absorção de nutrientes

Uma planta em condições normais de desenvolvimento possui diferentes estádios de crescimento que incluem a germinação, emergência, crescimento, reprodução, maturação e senescência. Assim, é fundamental o conhecimento de cada um dos fatores que podem influenciar cada fase de seu desenvolvimento (NASCIMENTO, 2009).

Um dos principais fatores relacionados à qualidade nutricional das plantas está na exigência de nutrientes nos diferentes estádios de desenvolvimento vegetal principalmente quando se visa a aplicação racional dos fertilizantes (HAAG et al., 1981). Desta forma, a marcha de absorção de nutrientes é uma ferramenta importante

para definir as quantidades adequadas de aplicação de fertilizantes nas plantas e obter delas seu máximo potencial produtivo (SÃO JOSÉ et al., 2014).

Uma das ferramentas utilizadas no balanceamento das adubações é a marcha de absorção de nutrientes, sendo uma técnica destrutiva de análise vegetal, onde a cada período definido, faz-se a retirada de uma ou mais plantas para se estimar a quantidade de cada nutriente absorvido a partir da matéria seca vegetal, expressa sob a forma de curvas em função da idade da planta (GRANGEIRO et al., 2007).

Muitos estudos com uma diversidade de espécies vegetais mostram o quanto é variável a exigência de nutrientes de acordo com cada período fenológico da planta. De acordo com Haag et al. (1978) o tomateiro sofre uma variação na concentração de nutrientes de acordo com o período de desenvolvimento da planta, com uma redução principalmente dos macronutrientes N, P e K durante o período que antecede a formação do fruto.

De acordo com Fayad et al. (2002) o tomateiro acumula maior quantidade de K em toda sua fase de crescimento, com aumento significativo nos períodos iniciais até o final da produção onde ocorre um decréscimo de todos os macronutrientes; e esse comportamento se assemelha ao observado para os micronutrientes, sendo o Cu encontrado em maior concentração no tomateiro independente da fase de desenvolvimento.

No pimentão, espécie do gênero *Capsicum*, Fontes et al. (2005b) observaram que existe um comportamento diferenciado na absorção e acúmulo de nutrientes em diferentes períodos de desenvolvimento da planta, bem como durante a frutificação, sendo adequado a vários modelos de regressão, principalmente ao modelo quadrático e base raiz para macronutrientes, e linear e base raiz para micronutrientes na parte aérea do pimentão, seguindo a seguinte ordem de acúmulo de nutrientes K, N, Ca,

Mg, P, S, Fe, B, Cu, Zn e Mn, resultado este que se assemelha ao encontrado por Dias (2000) que avaliou o crescimento e o acúmulo de nutrientes em pimentão.

Diante disso, esta técnica pode proporcionar um melhor entendimento sobre a exigência nutricional da pimenteira-de-cheiro em suas diferentes fases, considerando que para uma adubação correta é necessário se respeitar a marcha de absorção do vegetal, ou seja, o atendimento da exigência nutricional, considerando o ciclo fenológico da planta (MELO et al., 2009).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Implantação e condução do experimento

4.1.1. Local do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação com altura de 2,6 m de pé direito, na Embrapa Amazônia Ocidental, sob coordenadas 2°53'23,17"S e 59°58',77"W de latitude e longitude, respectivamente, de maio a dezembro de 2016. A temperatura média na casa de vegetação foi de 36°C durante o período de condução, obtido através de DataLogger.

4.1.2. Preparo do substrato

Como substrato foi utilizado amostra de Latossolo Amarelo distrófico argiloso da camada subsuperficial de 20-40 cm de profundidade e seus atributos químicos encontram-se descritos na Tabela 1 (EMBRAPA, 2009).

Tabela 1. Características químicas do Latossolo Amarelo distrófico argiloso coletado sob mata nativa em subsuperfície (20-40cm) na Embrapa Amazônia Ocidental.

Característica química do Solo	Valor
pH (H ₂ O)	4,19
C (g kg ⁻¹)	21,75
M.O. (g kg ⁻¹)	37,40
P (mg dm ⁻³)	4,00
K (mg dm ⁻³)	17,00
Na (mg dm ⁻³)	2,00
Ca (cmol _c dm ⁻³)	0,07
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,07
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,84
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	3,99
SB (cmol _c dm ⁻³)	0,19
t (cmol _c dm ⁻³)	1,03
T (cmol _c dm ⁻³)	4,19
V (%)	4,59
M (%)	81,38
Fe (mg dm ⁻³)	133,00
Zn (mg dm ⁻³)	2,15
Mn (mg dm ⁻³)	1,93
Cu (mg dm ⁻³)	0,29

A correção da acidez do solo foi realizada utilizando a dose de 3,0 t ha⁻¹ de CaCO₃ + MgCO₃ na proporção 4:1, definida através da equação $\text{pH} = 4,4024 + 0,4857x$ ($R^2 = 0,968$) obtida aos 30 dias de incubação, para se alcançar um pH próximo a 6,0 (CATANI e ALONSO, 1969).

O calcário foi misturado ao solo com a ajuda de bacias plásticas com capacidade de 25 dm³ e encubado em vasos de 15 dm³ com água deionizada até a capacidade de campo durante 35 dias.

Após o período de incubação, o solo foi seco e desestruturado, em seguida foi incorporada a adubação básica e de cobertura. Essas adubações foram baseadas nas recomendações de Ribeiro et al. (1999) para a cultura do pimentão via fertirrigação conforme Tabela 2, sendo multiplicada por cinco vezes a concentração de campo para N, P, K e micronutrientes (RESENDE et al., 2012).

Tabela 2. Concentração de macro e micronutrientes fornecidos na adubação básica e em cobertura da pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação em Manaus, AM.

Nutrientes	Dose aplicada até a 15ª semana (mg dm ⁻³)	Dose aplicada após a 15ª semana (mg dm ⁻³)	Fonte do nutriente
N	805,00	2.173,50	Ureia/nitrato de cálcio (p.a.)
K	776,19	1.629,98	Cloreto de potássio (p.a.)
P	785,90	392,95	Superfosfato triplo
S	150,00	150,00	Enxofre puro/diversos
B	1,25	1,25	Ácido bórico (p.a.)
Cu	5,00	5,00	Sulfato de cobre (p.a.)
Mn	1,00	1,00	Sulfato de manganês (p.a.)
Mo	0,68	0,68	Molibdato de amônio (p.a.)
Zn	7,50	7,50	Sulfato de zinco (p.a.)

A partir dos percentuais de P₂O₅ obtidos da análise química do Superfosfato triplo (Tabela 3), foi realizada a conversão em mg dm⁻³ de P para o fornecimento da adubação básica.

O N e K foram fornecidos nas quantidades totais de 44,67 g e 36,09 g planta⁻¹ de N e K através de soluções nutritivas aplicados com uso de pipeta graduada em 15

parcelas de acordo com a Tabela 3. As quantidades a serem aplicadas em cada parcela foram definidas a partir da sexta parcela com base na análise de teor e conteúdo de nutrientes nas plantas.

Tabela 3. Parcelamento das aplicações de nitrogênio e potássio por meio de soluções nutritivas em pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação em Manaus, AM.

Dias	Aplicações	N (g planta ⁻¹)	Concentração em relação a dose inicial	K (g planta ⁻¹)	Concentração em relação a dose inicial
1	1 ^a	1,20	1x	1,16	1x
15	2 ^a	1,20	1x	1,16	1x
30	3 ^a	1,20	1x	1,16	1x
45	4 ^a	1,20	1x	1,16	1x
60	5 ^a	1,20	1x	1,16	1x
75	6 ^a	1,20	1x	1,16	1x
90	7 ^a	1,20	1x	1,16	1x
100	8 ^a	1,20	1x	1,16	1x
110	9 ^a	2,41	2x	2,32	2x
120	10 ^a	4,83	3x	3,49	3x
130	11 ^a	4,83	3x	3,49	3x
140	12 ^a	4,83	3x	3,49	3x
150	13 ^a	6,03	5x	4,65	4x
160	14 ^a	6,03	5x	4,65	4x
170	15 ^a	6,03	5x	4,65	4x

4.1.3. Semeadura e desbaste

As sementes utilizadas na semeadura foram de pimenteira-de-cheiro cultivar Lupita (Feltrin®), postas a germinar diretamente no vaso e semeadas em número de cinco sementes a aproximadamente 0,5 cm de profundidade. Aos 10 cm de altura, foi realizado o desbaste mantendo uma planta por vaso, de forma a manter o experimento mais homogêneo.

4.2. Delineamento experimental

O experimento foi conduzido utilizando um delineamento inteiramente casualizado com 14 períodos de avaliação [20, 30, 40, 50, 60, 70, 84, 98, 112, 126,

140, 154, 175 e 200 dias após a emergência (DAE)] com oito repetições, sendo cada planta uma unidade experimental, totalizando 112 unidades experimentais avaliadas.

Com a finalidade de se obter maior quantidade de matéria seca de plantas nas fases iniciais, para análise nutricional, foram cultivadas um total de 64 plantas a mais, sendo 40 plantas coletadas aos 20 DAE e 24 plantas coletadas aos 30 DAE. A definição da necessidade de plantas adicionais foi baseada em experimento prévio para calcular a massa seca de plântulas.

O experimento contou ainda com bordaduras nas laterais conduzido de forma semelhante aos vasos dos tratamentos.

4.3. Espaçamento e tratos culturais

O experimento obedeceu ao espaçamento de 1,0 m entre linhas e entre plantas, com mudanças semanais de posição dos vasos de forma randômica, porém a partir dos 120 dias as plantas foram fixadas em estacas para dar suporte à planta, não havendo mais mudança de local das plantas.

A irrigação foi fornecida com uso de água deionizada por meio de proveta graduada de acordo com a necessidade da planta partindo da observação diária. O controle de plantas daninhas foi realizado semanalmente de forma manual, mas o controle de pragas como o pulgão e o acaro marrom foram realizados com aplicação de Decis e Abamex de acordo com a necessidade e observações diárias, totalizando 14 aplicações por meio de revezamento entre os produtos.

4.4. Análise do substrato

A cada avaliação foi realizada a coleta de solos para análise química e avaliar a disponibilidade de nutrientes. Os resultados médios de cada período estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4. Características químicas do solo cultivado com pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita durante 200 DAE em casa de vegetação em Manaus, AM.

DAE	pH	C	M.O.	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	V	m	Fe	Zn	Mn	Cu
	H ₂ O	g kg ⁻¹			mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³			%			mg dm ⁻³		
1	5,9	22,0	37,9	411,4	97,7	21,2	4,7	1,4	0,10	1,2	84,2	1,4	86,0	8,1	2,3	1,9
20	5,7	20,3	35,1	380,4	172,2	18,7	3,1	1,5	0,06	2,6	66,4	1,1	87,0	7,8	2,1	1,5
30	5,5	17,9	30,8	370,4	244,0	16,5	2,9	1,4	0,05	2,4	67,7	0,8	84,7	8,1	1,7	1,6
40	5,5	15,5	26,8	331,1	179,0	15,5	2,7	1,4	0,05	2,8	62,7	1,0	88,7	8,4	1,7	1,6
50	5,4	13,2	22,8	295,8	206,2	15,7	2,5	1,4	0,04	3,1	59,0	0,9	87,0	8,5	1,5	1,7
60	5,4	12,2	21,1	286,9	211,5	14,7	2,5	1,3	0,05	3,5	55,9	1,0	86,5	8,8	1,5	1,9
70	5,4	11,9	20,6	291,8	127,5	13,5	2,3	1,2	0,05	4,0	50,1	1,1	90,2	8,5	1,5	2,0
84	5,2	12,8	22,1	291,1	147,2	13,7	2,4	1,2	0,06	3,8	51,6	1,3	95,5	9,4	1,3	2,2
98	5,2	13,7	23,6	292,4	143,2	11,7	2,3	1,1	0,04	3,8	50,4	0,9	107,0	10,4	1,3	2,4
112	5,1	14,4	24,8	283,1	159,2	11,7	3,2	1,2	0,05	3,1	61,5	0,8	114,7	11,7	1,2	2,6
126	5,5	14,5	25,0	331,2	84,2	10,5	3,1	1,3	0,05	3,0	60,5	0,9	92,7	10,0	2,5	1,8
140	5,4	15,3	26,3	352,1	188,2	10,5	2,8	1,2	0,04	3,1	60,0	0,7	87,2	9,6	2,4	1,7
154	5,4	16,6	28,7	334,2	63,5	10,2	2,8	1,2	0,05	3,4	55,7	1,2	93,7	9,5	2,2	1,5
175	5,4	17,9	30,9	314,9	441,5	10,5	2,8	1,1	0,06	3,2	61,2	1,2	99,7	9,4	2,1	1,7
200	5,2	18,6	32,0	303,4	191,5	8,7	2,7	1,1	0,07	3,4	55,9	1,6	108,2	9,0	1,9	1,8

4.5. Avaliação experimental

4.5.1. Identificação e definição do período das fenofases

Durante todo o cultivo da pimenteira-de-cheiro foram observadas e datadas as principais características fenotípicas da planta, que foram a emergência, florescimento e frutificação, a partir das quais foram definidas as seguintes fenofases:

- I. Fase vegetativa - início com a emergência de plântulas até o surgimento dos primeiros botões florais.
- II. Fase reprodutiva - inicia com o surgimento dos primeiros botões florais até a visualização dos primeiros frutos.

- III. Fase de frutificação ou produção - compreende o momento do surgimento dos primeiros frutos até o final da avaliação experimental (200 DAE).

Todas as fenofases foram definidas quando 50% de todas as plantas do experimento apresentavam as características fenotípicas descritas anteriormente.

Apesar da definição das fenofases as características de crescimento, florescimento e frutificação se sobrepõem ou acontecem concomitantemente umas com as outras.

4.5.2. Determinação do crescimento e massa seca da pimenteira-de-cheiro

4.5.2.1. *Variáveis Biométricas*

A cada período de avaliação foram coletadas oito plantas onde aferiu-se medidas de crescimento de acordo com Benincasa (1986), Pérez-Harguindeguy et al. (2013), as quais foram:

- I. Altura da planta (cm) – obtida com trena milimétrica metálica medindo da parte basal do coleto até a folha mais alta da planta;
- II. Diâmetro do coleto (mm) – medido com uso de paquímetro digital em duas aferições por planta, uma perpendicular à outra, na base do coleto e obtendo-se uma média;
- III. Número de folhas – obtido por meio de contagem individual.

As plantas avaliadas em cada período foram divididas em cinco partes, sendo:

- I. RAIZ - raiz cortada a partir da base do coleto;
- II. CAULE – caule cortado na base e todos os ramos;
- III. FOLHA – composta do limbo foliar e pecíolo;

- IV. FLOR - composta de toda a parte floral em diferentes estádios de desenvolvimento (botão floral, flor em forma de balão, flor em antese e flor murcha), incluindo em todas o pedúnculo;
- V. FRUTO - composta do fruto com pedúnculo.

Somente a partir dos 70 DAE todas as partes das plantas foram avaliadas, pois foi observada a fase reprodutiva.

A Área foliar (cm²) foi obtida de forma indireta, com o auxílio de um scanner “Avision FB 6000”. Foram coletadas folhas apicais, medianas e basais de um ramo representativo, e escaneadas juntamente com uma medida padrão de 3 cm.

Em seguida, as amostras foram colocadas em sacos de papel identificados, secos em estufa de ventilação forçada e pesado para obtenção da matéria seca.

As imagens obtidas por escaneamento foram transformadas para 8 bits (preto e branco) por meio do programa “ImageJ”. O programa calculou a área das imagens em preto, que representam a área foliar das amostras.

Através da área foliar das amostras e da matéria seca de folhas amostrais e total, foi estimada área foliar da planta pela equação:

$$AF = \frac{AF_a \times (PSF_t + PSF_a)}{PSF_a}$$

Sendo:

AF = área foliar da planta;

AF_a = área foliar da amostra escaneada;

PSF_a = peso seco da amostra de folhas escaneadas e

PSF_t = peso seco de folhas total.

A partir da área foliar e do número de folhas, foi calculado a área foliar média da folha (AF_f) (cm² folha⁻¹) pela equação:

$$AFf = \frac{AF}{Nf}$$

Onde,

AF = área foliar total e

Nf = número de folhas.

4.5.2.2. *Produção e produtividade*

Em cada período foram coletados dados de produção de frutos, sendo divididos em três categorias (propostas pelo presente estudo e baseado em características comerciais do pimentão) a fim de se ter uma melhor divisão qualitativa dos frutos:

- C1 – frutos sem resistência a pressão dos dedos (moles), superfície com rugosidades e sem brilho;



Figura 1. Frutos da categoria C1 da pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita, produzidos em casa de vegetação em Manaus, AM.

- C2 – fruto verde com pouca resistência a pressão dos dedos, superfície com pouca rugosidade e sem brilho;



Figura 2. Frutos da categoria C2 da pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita, produzidos em casa de vegetação em Manaus, AM.

- C3 – fruto completamente verde a completamente amarelo, com forte resistência à pressão dos dedos, com superfície lisa e brilhante (frutos comerciais).



Figura 3. Frutos da categoria C3 da pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita, produzidos em casa de vegetação em Manaus, AM.

Nos períodos intermediários às avaliações experimentais, foram realizadas coletas de frutos C3 a fim de que não houvesse perdas de produção. O montante de frutos coletado foi somado aos frutos C3 da avaliação seguinte.

A produção parcial de frutos comerciais foi obtida através da soma do peso fresco dos frutos C3 em cada período de avaliação, e ao final do experimento. A produção final foi obtida da soma de todas as coletas parciais de frutos C3.

A partir da produção média da pimenteira-de-cheiro, obteve-se a produtividade estimada considerando o espaçamento 1 x 1 m entre plantas para um hectare.

4.5.2.3. *Matéria seca de parte das plantas*

As folhas senescentes das plantas foram coletadas em sacos de papel identificados e presos ao vaso de cada planta, para compor a matéria seca total de folhas.

Todas as partes foram separadas e lavadas com água deionizada, colocadas em sacos de papel identificados e levados à estufa de ventilação forçada e as amostras secas a 65°C, em seguida foram pesadas em balança analítica de precisão para compor as **matérias secas de folhas (MSF), de caule (MSC), de raiz (MSR), de flor (MSFI) e de fruto (MSFr)**.

4.5.2.4. *Avaliações fisiológicas*

Com base nos resultados de matéria seca, foram calculados os parâmetros fisiológicos de acordo com metodologia proposta por Benincasa (1986) sendo tais parâmetros:

Área Foliar Específica (AFE) (cm².g⁻¹), pela equação:

$$AFE = \frac{AF}{MSF},$$

Onde:

AF = área foliar e

MSF = matéria seca de folhas.

Razão Peso Foliar (RPF) (g. g^{-1}), pela equação:

$$RPF = \frac{MSF}{MST},$$

Onde:

MSF = matéria seca de folhas.

MST = matéria seca total da planta.

Razão Área Foliar (RAF) ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$), pela equação

$$RAF = \frac{AF}{MST}$$

Taxa de Crescimento Absoluto (TCA) ($\text{g}^{-1} \text{dia}^{-1}$), pela equação:

$$TCA = \frac{(MST1 - MST2)}{(T2 - T1)}$$

Onde:

MST1 = matéria seca total no tempo 1 (g);

MST2 = matéria seca total no tempo 2 (g);

T1 = tempo 1 (dia) e

T2 = tempo 2 (dia).

Taxa de Crescimento Relativo (TCR) ($\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$), pela equação:

$$TCR = \frac{(\ln(MST2) - \ln(MST1))}{MST}$$

Onde:

Ln = logaritmo neperiano ou natural;

Taxa Assimilatória Líquida (TAL) ($\text{g cm}^2 \text{ dia}^{-1}$), pela equação:

$$TAL = TCR \times RAF$$

4.5.3. Determinação do acúmulo de nutrientes nas partes da planta

4.5.3.1. *Determinação do acúmulo de macro e micronutrientes*

Cada uma das partes secas e separadas foram moídas em moinho do tipo Willey, e levadas ao Laboratório de Análise de Solos e Plantas da Embrapa para análise química de acordo com a metodologia descrita em Embrapa (2009), para obtenção dos teores de macro e micronutrientes.

Os acúmulos dos macronutrientes (mg planta^{-1}) N, P, K, Ca, Mg e S foram estimados pela equação:

$$AC = Tn \times MSp,$$

Onde,

AC = macronutriente acumulado,

Tn = teor do macronutriente na parte analisada (g kg^{-1}) e

MSp = matéria seca da parte analisada (g).

Os acúmulos de micronutrientes (mg planta^{-1}), B, Cu, Mn, Fe e Zn foram calculados pela equação:

$$AC_{mi} = \frac{Tn \times MSp}{1000}$$

Onde,

AC_{mi} = micronutriente acumulado;

Tn = teor do micronutriente na parte analisada (mg kg^{-1}) e

MSp = matéria seca da parte analisada (g).

O acúmulo total (mg planta^{-1}) (ACT) de cada nutriente foi estimado pela equação:

$$ACT = AC(folha) + AC(caule) + AC(raiz) + AC(flor) + AC(fruto)],$$

Ou seja, a soma do nutriente acumulado em todas as partes analisadas.

4.5.3.2. Determinação da série liotrópica de nutrientes

Os valores percentuais de acúmulo de cada nutriente foram obtidos através da equação:

$$[Y = AC_{xp} \times 100 / ACT],$$

Onde,

Y = porcentagem do nutriente;

AC_{xp} = acúmulo do nutriente em determinada parte da planta (mg planta^{-1});

AC_{xt} = soma dos acúmulos do nutriente em todas as partes da planta.

Também foram calculados os valores percentuais de cada nutriente em relação a soma do acumulado de todos os nutrientes em cada parte da planta através da equação:

$$[Y = (AC_x \times 100) / (\sum AC_{xyz})],$$

Onde,

Y = acúmulo do nutriente “x”

$\sum AC_{xyz}$ = soma dos acúmulos de todos os nutrientes incluindo o x.

A Taxa de Acúmulo ($\text{mg planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) de nutriente foi calculada pela equação:

$$TA = (AC_{x2} - AC_{x1}) / (T2 - T1)$$

Onde,

AC_{x2} = acúmulo do nutriente no tempo 2 (mg);

AC_{x1} = acúmulo do nutriente no tempo 1 (mg);

T_2 = tempo 2 (dia) e

T_1 = tempo 1 (dia).

4.6. Análise estatística

As observações e períodos das fenofases não foram submetidas à análise estatística, porém foram descritas e apresentadas em imagens, e na forma de gráfico de coluna para melhor compreensão.

Os dados biométricos e morfofisiológicos foram submetidos à análise de variância com o uso do software SISVAR versão 5.6 (FERREIRA, 1999), considerando a organização de dados descrita a seguir.

4.6.1. Análise de variância em delineamento inteiramente casualizado e arranjo experimental simples

Os dados de **altura, diâmetro, número de folhas, AFE, RPF, RAF, TCA, TCR** e **TAL**, foram submetidos à análise de variância considerando como tratamentos 14 períodos de avaliação, com oito repetições.

4.6.2. Análise de variância em delineamento inteiramente casualizado e esquema fatorial 14 x 5 (período x parte da planta)

A partir dos **acúmulos de macro e micronutrientes** obtidos em cada parte da planta, os dados de acúmulo de nutrientes foram submetidos à análise de variância considerando a interação 14x5, sendo 14 períodos (20, 30, 40, 50, 60, 70, 84, 98, 112, 126, 140, 154, 175 e 200 dias após a emergência) e 5 partes da planta (raiz, caule, folha, flor e fruto) com 8 repetições.

4.6.3. Análise de variância em delineamento inteiramente casualizado e esquema fatorial 5 x 6 (parte da planta x %macronutriente) e 5 x 5 (parte da planta x %micronutriente)

A fim determinar a série liotrópica de acúmulo dos nutrientes em cada período do crescimento da planta, foram consideradas como fonte de variação a interação “parte da planta x nutriente”, sendo 5x6 para macronutrientes e 5x5 para micronutrientes em valores percentuais.

4.6.4. Teste de média e regressão dos dados

Resultados percentuais de acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Fe, Zn e significativos foram submetidos ao teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os resultados com fonte de variação quantitativa que foram significativos, foram submetidos aos modelos de regressão dispostos na Tabela 5, utilizando o software SigmaPlot versão 14.0 (SIGMAPLOT, 2017).

Tabela 5. Equações de regressão propostos para variáveis biométricas e de acúmulo de nutrientes em pimenteira-de-cheiro cv. Lupita (*Capsicum chinense* Jacquin), em Manaus, AM.

Modelo	Equação
Linear	$y = a + bx$
Quadrático	$y = a + bx + cx^2$
Exponencial	$y = a \cdot \text{Exp}(-bx)$
Sigmoide	$y = a / (1 + \exp(-(x-x_0)/b))$
Logístico	$y = a / (1 + \text{abs}(x/x_0)^b)$
Gaussiano	$y = a \cdot \text{Exp}(-,5 * ((x-x_0)/b)^2)$
Lorentziana	$y = a / (1 + ((x-x_0)/b)^2)$
Lognormal	$y = a \cdot \exp(-0,5 * (\ln(x/x_0)/b)^2/x)$

Os critérios escolhidos para definição dos modelos de regressão foram o maior coeficiente de determinação, significância dos coeficientes de regressão até 5% de probabilidade pelo teste de t e significado biológico do modelo.

Os resultados não significativos a qualquer um dos modelos de regressão estão apresentados na forma de medias dispostos em gráficos de dispersão com linhas conectoras.

Os dados percentuais foram dispostos em gráficos de barras verticais empilhadas ou tabelas. A taxa de acúmulo não foi submetida às análises de variância e regressão, mas foi utilizada para melhor compreensão dos resultados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização das fenofases de crescimento da pimenteira-de-cheiro

5.1.1. Germinação e fase vegetativa

A plântula emergiu com sete dias após a semeadura (DAS). O crescimento é ereto inicialmente, com um caule principal (Figura 4a) e uma média de seis ramos que saem da base deste, definidos entre 30 e 40 DAE (Figura 4b).

5.1.2. Fase reprodutiva

Os primeiros botões florais surgiram aos 37 DAE na parte central da bifurcação primária do ramo principal. O botão floral tornou-se expressivo aos 42 DAE, e de cada bifurcação surgiram 3 a 5 botões florais (Figura 4c), e a antese da primeira flor aconteceu aos 56 DAE (Figura 1d), permanecendo aberta entre 1 e 2 dias aproximadamente.

Com o crescimento e a formação de novas bifurcações, a antese das flores de cada bifurcação não segue um padrão definido. As flores de cada bifurcação têm abertura em períodos variados, podendo ocorrer a antese de flores da bifurcação posterior, antes da antese de algumas flores da bifurcação anterior.

Os resultados diferem dos encontrados por Castro e Dávila (2008) e Domenico et al. (2012) com espécies do gênero *Capsicum* (*C. annuum*, *C. baccatum*, *C. frutescens*) os quais tem o florescimento em período posterior ao da pimenteira-de-cheiro.

Costa et al. (2015) avaliando acessos de *Capsicum* em Manaus, AM, encontraram uma variação no florescimento entre 60 a 90 dias após a semeadura.

A variação entre os resultados pode estar relacionada a fatores como o ambiente de cultivo da pimenteira-de-cheiro, considerando que a planta possui plasticidade fenotípica como forma de se adaptar aos diversos ambientes (SCHLICHTING, 1986).

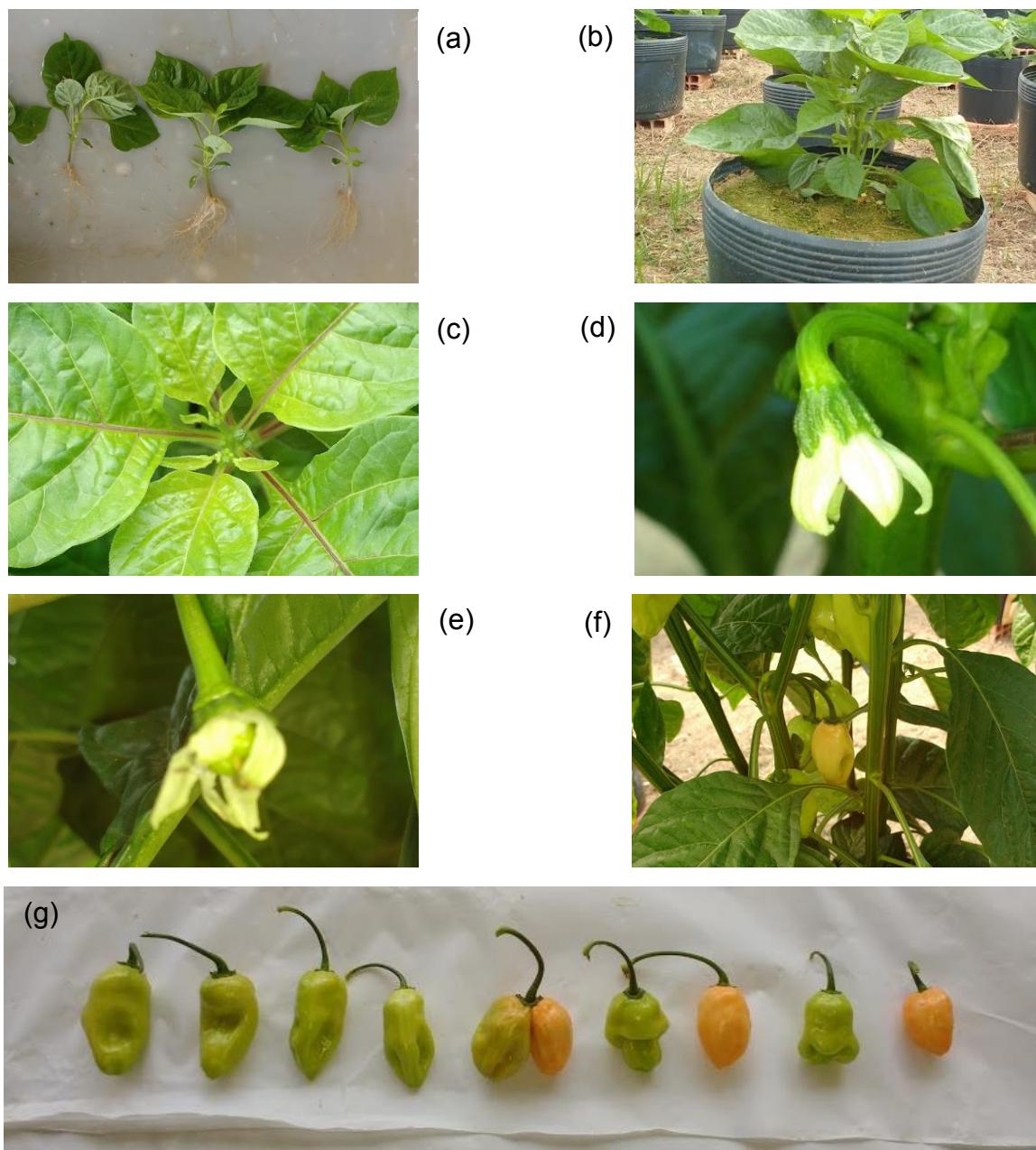


Figura 4. Fase inicial de crescimento (a), formação de ramos (b), formação de botões florais e a primeira bifurcação (c), antese da primeira flor (d), formação do primeiro fruto (e), mudança de coloração do fruto (f) e diferentes tamanhos e formatos de frutos comerciais (g) de pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação, em Manaus, AM.

Além disso, o cultivo em vaso, diferentemente do cultivo em condições de campo, exige o fornecimento de nutrientes de uma forma mais concentrada, o que pode ter favorecido o florescimento antecipado, pois de acordo com Medina-Lara et al. (2008) o fornecimento de N em maior concentração estimula o florescimento precoce de *C. chinense*.

5.1.3. Fase de frutificação ou produção

O surgimento dos frutos ocorreu aos 62 DAE (Figura 4e), a partir do qual se desenvolveu e aos 90 DAE iniciou a mudança de coloração do verde para o amarelo (Figura 4f).

A mudança de coloração começou pelos frutos da primeira bifurcação, porém, sem um padrão definido, de forma que alguns frutos da segunda bifurcação apresentaram mudança de coloração antes de parte dos frutos da bifurcação anterior; característica essa que se destacou em toda a fase de frutificação.

As formas e tamanhos dos frutos também foram variáveis na mesma planta (Figura 4g), o que dificultou a padronização dos frutos por medidas de comprimento e largura.

Os primeiros frutos entraram em senescência aos 98 DAE, com o escurecimento do pedúnculo, e coloração amarelada do fruto. Porém, a produção de novos frutos foi crescente com queda aos 120 DAE e nova floração em seguida.

Aos 200 DAE as plantas apresentavam um número de folhas visualmente reduzido, isso se deu devido à queda acentuada das mesmas no final do período de produção. Neste momento, as folhas novas de modo geral, apresentavam coloração verde claro, e nas folhas velhas, a coloração era verde amarelada.

Observou-se ao final do experimento que havia a formação de folhas novas nas extremidades dos ramos, mas de tamanho reduzido. Os frutos presentes na planta

em sua maioria apresentavam coloração amarelada (C3), e poucos frutos na categoria C1 e C2. A Figura 5 ilustra os eventos de cada fenofase de pimenteira-de-cheiro cv. Lupita.

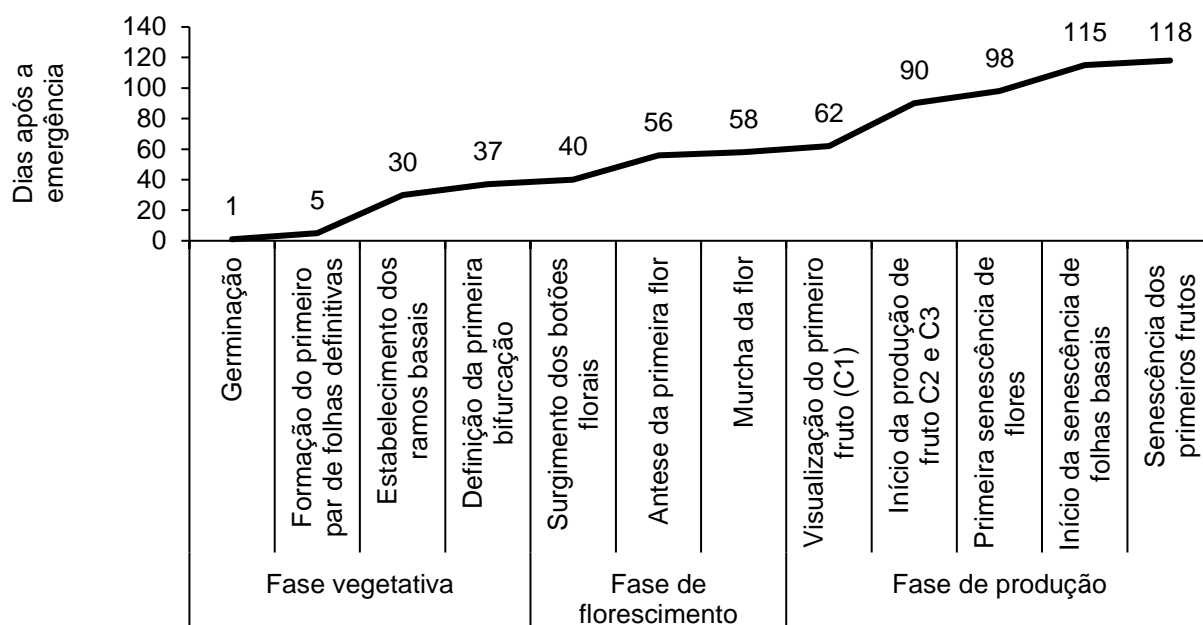


Figura 5. Fenofases e seus eventos de pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação em Manaus, AM.

5.2. Curvas de crescimento e de acúmulo de matéria seca pela planta

5.2.1. Altura, diâmetro do caule, número de folhas, área foliar e da folha

Houve ganho significativo para a altura, diâmetro do coleto, número de folhas e área foliar das plantas de pimenta-de-cheiro.

5.2.1.1. Curva resposta para variáveis biométricas e taxas de crescimento

Os ganhos em altura, diâmetro do coleto, número de folhas foram adequados a modelo logístico crescente (Figura 6a, 6b, 6c), com valores máximos de 91,6 cm planta⁻¹; 30,2 mm planta⁻¹ e 2.807,1 folhas planta⁻¹, respectivamente aos 200 DAE.

A área foliar da pimenteira-de-cheiro apresentou adequação Lognormal de regressão (Figura 6d) com área máxima de aproximadamente 25.000 cm² planta⁻¹ aos 112 dias. A área da folha não se adequou a nenhum modelo de regressão (Figura 6e), no entanto, aos 70 DAE foi observado a maior área de folha com 44,1 cm² folha⁻¹.

A maior taxa de crescimento em altura e diâmetro foram de 2,036 cm planta⁻¹ dia⁻¹ e 0,429 mm planta⁻¹ dia⁻¹ entre 40 a 50 DAE, respectivamente. Área foliar obteve maior incremento entre 50 e 60 DAE, com 404,2 cm² planta⁻¹ dia⁻¹. Tal período coincide com a fenofase de florescimento, que ocorre concomitantemente com o desenvolvimento vegetativo.

Neste período de desenvolvimento vegetativo ocorre alta atividade dos meristemas apicais primários e secundários na parte aérea (MURRAY et al, 2012) e na raiz (BIZET et al., 2015) das plantas.

Estes meristemas trabalham em constante divisão, alongamento e diferenciação celular, requerendo uma grande quantidade de fotoassimilados para a formação de uma grande quantidade de novas células (TAIZ e ZEIGER, 2013; DUCA, 2015). Este fato pode ser comprovado pela taxa de crescimento em altura apresentada na fenofase de florescimento.

Além disso, os resultados da pesquisa realizada por Steer e Pearson (1976) em *C. annuum*, mostram que em folhas basais mais velhas há um maior fluxo de fotoassimilados em direção ao sistema radicular. Em folhas maduras da parte superior da planta os fotossintatos são direcionados aos meristemas apicais e formação de folhas, flores e frutos.

Durante a fenofase posterior (frutificação ou produção) há uma estabilização em relação à altura da planta. A pimenteira-de-cheiro apresentou maior número de folhas entre 154 e 175 DAE com 21,1 folhas planta⁻¹ dia⁻¹.

Porém, após os 175 DAE observou-se uma taxa de redução de área foliar da planta de $-115,8 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, onde a área individual da folha chegou a $6,7 \text{ cm}^2 \text{ folha}^{-1}$ aos 200 DAE.

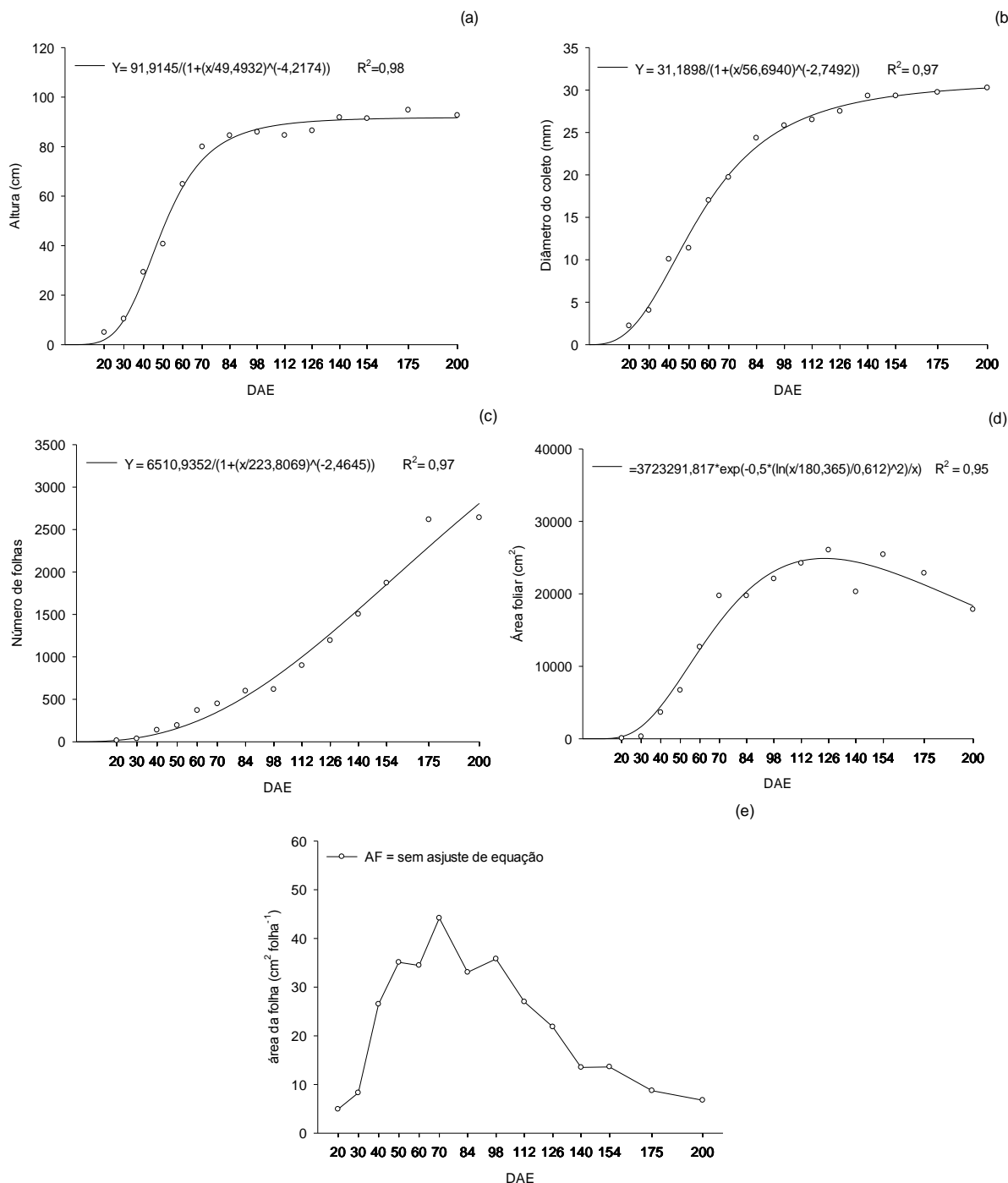


Figura 6. Altura (a), diâmetro do coleto (b), número de folhas (c), área foliar da planta (d) e área foliar da folha (e) de plantas de pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação em Manaus, AM.

Esta redução de área foliar deve-se ao processo natural de senescência das folhas mais velhas e com maior área de folha (Figura 6e), além de haver a formação de um grande número de folhas jovens de tamanho reduzido (Figura 6b).

Domenico et al. (2012) em estudo com acessos de pimenteira-de-cheiro em condições de campo, obtiveram máxima altura de 172,0; 147,0 e 146,0 cm para os acessos IAC 1547, IAC 1548 e IAC 1592, respectivamente, aos 300 dias de cultivo.

Lima et al. (2017) observaram que a *C. chinense* morfotipo pimenta-de-cabra aos 50 dias após o transplântio (DAT) alcança a altura entre 36 a 49 cm, e um diâmetro do coleto entre 4,7 e 5,8 mm; e aos 84 DAT pode ter uma altura de até 70,56 e um diâmetro de 7,76 mm.

Esta característica também difere do observado por Charlo et al. (2011) em *C. annuum*, espécie do mesmo gênero *Capsicum*, cuja altura máxima foi de 189,0 cm aos 189 dias após o transplântio (DAT) e o incremento máximo na altura foi de 0,689 cm dia⁻¹ entre 105 e 126 DAE; e estes mesmos autores observaram diferença também entre o número de folhas e de área foliar tanto no aumento quanto no período de crescimento.

Garruña-Hernández et al. (2014) encontraram valores semelhantes de área foliar em três fases de desenvolvimento fenológico de *C. chinense*, aproximadamente 2.500 cm² planta⁻¹, em temperatura média de 30°C.

5.2.2. Produção de frutos totais e comerciais

Houve diferença significativa da produção de frutos C1, C2 e C3 de pimenteira-de-cheiro em decorrência dos DAE. Porém, somente os dados de número e produção de frutos acumulados se adequaram a um dos modelos de regressão.

5.2.2.1. Curva resposta e taxa de produção e produtividade estimada

O número de frutos (Figura 7d) e a produção total de frutos frescos comerciais C3 (Figura 7e), apresentaram comportamento adequado ao modelo logístico de regressão.

A produção máxima acumulada foi de 1.325 frutos planta⁻¹, o equivalente a 8,897 kg planta⁻¹, de frutos comerciais até os 200 DAE. Logo, estima-se que nas condições propostas pelo presente estudo, essa produtividade possa alcançar 88,97 t ha⁻¹ (10.000 plantas ha⁻¹) de frutos comerciais.

O número e a produção de frutos C1, C2 e C3 da pimenteira-de-cheiro (Figuras 7a, 7b e 7c), apesar de não se adequar a nenhum modelo de regressão proposto, os resultados mostram que a planta é altamente produtiva, cuja maior produção de frutos comerciais (C3) ocorreu entre 112 e 154, e aos 154 DAE alcançou a produção de cerca de 2,5 kg planta⁻¹ de frutos comerciais.

Tal resultado é significativamente superior ao relatado por Jaimez e Rada (2015) em *Capsicum chinense* morfotipo Pépon, que aos 117 DAE obteve uma produção de 500 g planta⁻¹, cerca de 27% da produção total observada para a *C. chinense* (Lupita). Ainda de forma comparativa, o número médio de frutos por planta observado por esses autores foi de 184, com 37 frutos a mais que a pimenta Lupita, indicando que há uma diferença considerável entre as massas frescas das cultivares.

Quanto às taxas de produção, o período que compreende 126 e 140 DAE apresentou maior taxa na formação de novos frutos comerciais, sendo 18 frutos planta⁻¹ dia⁻¹ com peso estimado de 122,53 g planta⁻¹ dia⁻¹.

Esses resultados de produção justificam, em parte, àqueles observados para as características biométricas e os comportamentos de crescimento apresentados durante a fenofase de produção.

No contexto do crescimento, durante esta fenofase, o crescimento em altura é reduzido, e a planta cessa o desenvolvimento dos ramos e formação de novas bifurcações. O engrossamento do caule também teve considerável redução em sua taxa de crescimento. Diferente do que foi observado na altura, continuidade do engrossamento do caule, promoveu maior resistência da planta para suportar o peso da produção de frutos.

Outro aspecto inerente à fenofase de produção, foi o aumento do número de folhas e com redução da área foliar, seja ela total ou individual. Este comportamento foi influenciado pela quantidade de frutos produzida (Figuras 7), pois o fruto é o principal dreno de fotossintatos nas plantas frutíferas durante esta fenofase (HALFORD, 2010).

Este fato pode ser comprovado por Gama et al. (2017) em mini-tomate da mesma família da pimenteira-de-cheiro, ocorrendo também em famílias diferentes como afirmam Laviola et al. (2007) em estudo com cafeeiro.

Shukla e Sharma (2011) avaliando o desenvolvimento de *C. chinense*, estimaram uma produção de 8,9 frutos planta⁻¹, porém com período indefinido de colheita.

Rêgo et al. (2011) avaliando diferentes acessos de *C. chinense* obtiveram valores máximos de peso de frutos frescos próximo a 12,0 g fruto⁻¹, no entanto, a maior parte dos acessos apresentou um peso médio de 8,0 g fruto⁻¹, valor que se encontra em conformidade com os apresentados pelos resultados obtidos na presente pesquisa.

Domenico et al. (2012) registraram uma produtividade de até 508 g planta⁻¹ entre três cultivares de pimenteira-de-cheiro em aproximadamente 300 DAS, valor consideravelmente inferior ao encontrado em pimenteira-de-cheiro cv. Lupita do presente estudo.

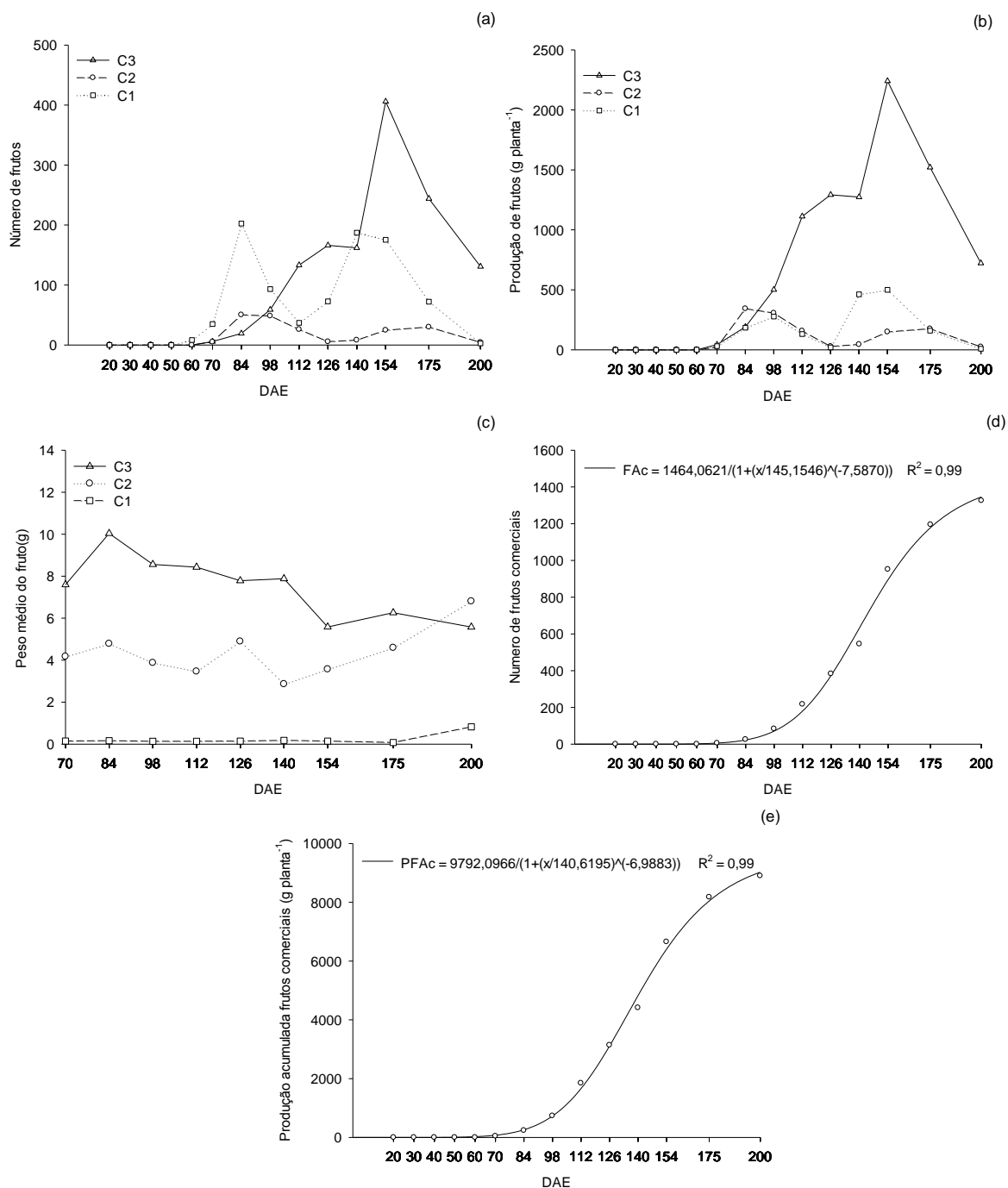


Figura 7. Número de frutos (a), produção de frutos (b) e peso médio do fruto (c) em cada período de avaliação; número de frutos comerciais (d) e produção acumulada de frutos de pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação em Manaus, AM.

5.2.3. Produção de matéria seca de caule, folhas, flores, frutos e raiz

Os dados de matéria seca entre partes da planta mostraram diferenças significativas ($p < 0,01$) entre os períodos de avaliação.

5.2.3.1. *Curva resposta de acúmulo de matéria seca*

Os dados de matéria seca de folhas, caule, raiz, frutos comerciais acumulados e matéria seca total da planta se adequaram à equação logística, com exceção matéria seca de flor e peso médio do fruto seco.

Os acúmulos de matéria seca de raiz, caule, folhas e frutos foram crescentes, alcançando 46,2; 176,6; 171,7 e 1.053,5 g planta⁻¹ aos 200 DAE (Figuras 8a, 8b, 8c e 8f). No entanto, durante a fase vegetativa (1 a 40 DAE), observou-se um maior acúmulo de matéria seca nas folhas (Figura 8h) em relação as demais partes.

Esta característica é justificada pelo fato de planta necessitar de órgãos fotossintetizantes maduros, que permitam a formação e mobilização de compostos carbonados para formação de suas demais partes vegetais como caule, flores e principalmente frutos.

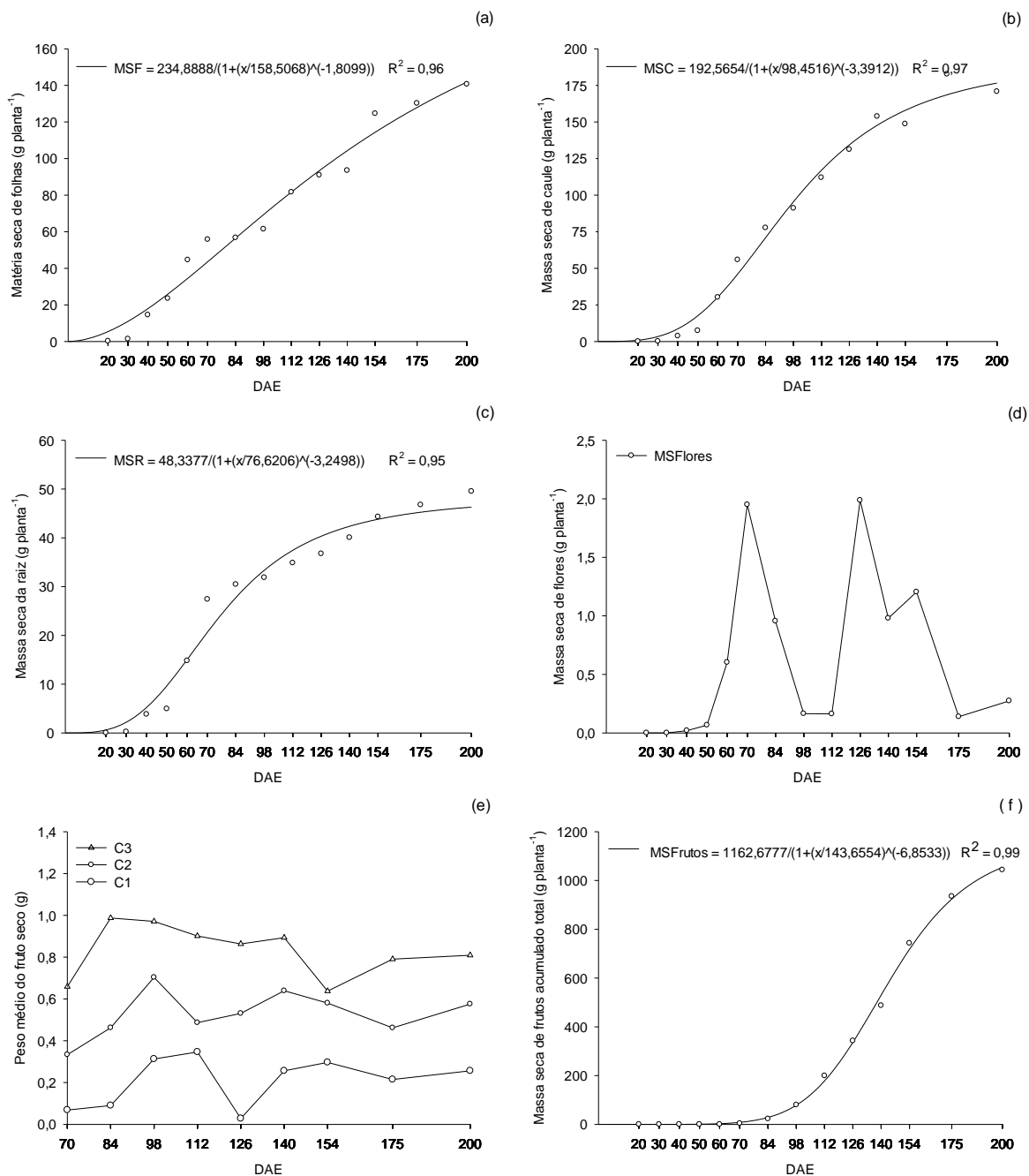
Tal fato corrobora com o comportamento observado para o diâmetro do coleto nesta mesma fenofase (Figura 6b), ou seja, ocorre uma estruturação da planta para suportar o peso dos frutos. Ou ainda, é possível que haja a necessidade de uma estrutura de mobilização de água e nutrientes na planta (xilema e floema) mais bem desenvolvida no caule.

Além disso, as maiores taxas de acúmulo de matéria seca de folhas e de caule ocorreram próximo aos 84 DAE, com 0,94 g planta⁻¹ dia⁻¹ e 1,78 g planta⁻¹ dia⁻¹, respectivamente. A matéria seca de raiz teve a maior taxa de acúmulo aos 70 DAE, com 0,56 g planta⁻¹ dia⁻¹.

Por outro lado, a matéria seca de frutos apresentou aos 140 DAE com 13,84 g planta⁻¹ dia⁻¹, um ganho quinze vezes maior que o de matéria seca de folhas, e oito vezes maior que o de caule.

A partir dos 84 DAE, há um aumento do percentual de investimento em massa seca de frutos, em detrimento das demais estruturas das plantas (Figura 8h). Ao final

do período de avaliação 74% da matéria seca total da planta estavam contidas nos frutos.



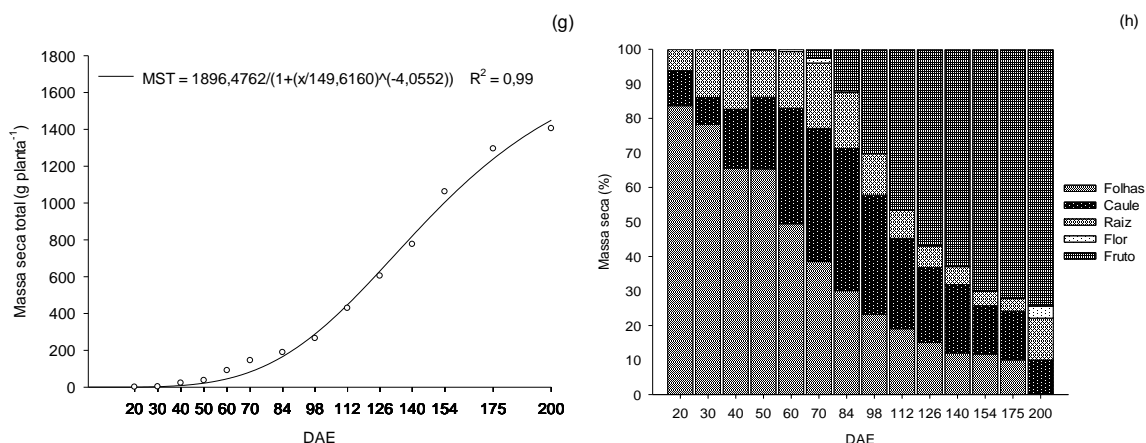


Figura 8. Matéria seca de folhas (a), caule (b) raiz (c), flores (d), peso médio de frutos (e), matéria seca total de frutos (f), matéria seca total da planta (g) e percentual de matéria seca de folha, caule, raiz, flores e frutos (h) de plantas de pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação em Manaus-AM.

A pesar da matéria seca de flores não ter apresentado comportamento adequado a um modelo de regressão, houve um aumento da sua massa em dois períodos diferentes, aos 70 e aos 126 DAE.

Garruña-Hernández et al. (2014), avaliando o crescimento de *C. chinense* em quatro fases fenológicas, obtiveram aproximadamente 17,0 g planta⁻¹ de MST na fase de frutificação (130 dias após a semeadura), uma quantidade 37 vezes menor que a matéria

Charlo et al. (2011) relataram um comportamento semelhante em incremento de matéria seca total em *C. annuum*, com 65,8; 70,0 e 451,5 g planta⁻¹g para matéria seca de caule, de fruto e matéria seca total aos 189 DAT. Neste mesmo período a produção de matéria seca de fruto representou 67% da matéria seca total.

A pimenteira-de-cheiro cv. Lupita demonstra ter uma capacidade maior na produção de frutos, em relação a algumas espécies do mesmo gênero botânico, e até mesmo de morfotipos e acessos de *C. chinense*.

5.2.4. Variáveis morfofisiológicas

As variáveis fisiológicas foram significativamente influenciadas pelo tempo de avaliação ($P < 0,01$), apresentando comportamentos diferentes em função do período de avaliação.

5.2.4.1. Curva resposta para TCA, TCR, RAF, RPF, AFE e TAL

A TCA apresentou melhor adequação ao modelo Gaussian (Figura 9a), por outro lado, a TCR, RAF e RPF se adequou ao modelo exponencial (Figuras 9b, 9c e 9e), e a AFE e TAL, não se adequaram a nenhum dos modelos de regressão propostos (Figuras 9d e 9f).

A TCA durante a fase vegetativa, alcançou cerca de $1,0 \text{ g dia}^{-1}$. Durante a fase de florescimento, esta taxa alcança $1,6 \text{ g dia}^{-1}$, e no período de produção chega a taxa máxima de $8,21 \text{ g dia}^{-1}$ aos 183 DAE.

A maior TCA durante a fenofase de produção foi influenciada principalmente pela produção de matéria seca de frutos, que a partir dos 126 DAE ultrapassa os 50% da matéria seca total da planta (Figura 8h).

Quanto a TCR, o valor máximo $0,26 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ foi observado no início da fenofase vegetativa, com redução contínua, e os menores valores foram encontrados durante a fase de produção (Figura 9b).

Na fase inicial de crescimento a planta evolui muito rapidamente, com a formação de caule, raiz e principalmente folhas. Desta forma, nos períodos iniciais da fenofase vegetativa, o ganho de massa seca é mais acelerado em relação aos intervalos de tempo posteriores.

Um dos motivos para este comportamento está relacionado ao auto sombreamento das folhas mais velhas, com a redução da interceptação luminosa e também da fotossíntese, o que reduz a disponibilidade de fotoassimilados para suprir as altas taxas de crescimento.

Este resultado está de acordo com o esperado, uma vez que qualquer incremento em massa vegetal ao longo de um determinado período está diretamente relacionado a massa vegetal do período anterior (BENINCASA, 2003).

Em relação a RAF (Figura 9c) durante a fenofase vegetativa foi estimado uma área foliar de 279,7 cm² para se produzir 1,0 g de matéria seca total da planta. Este comportamento seguiu a tendência de decréscimo, à medida que as folhas se desenvolveram. Durante a fenofase de produção o valor da RAF foi reduzido a 12,2 cm² g⁻¹.

A consequente redução no valor da RAF, sofre a mesma influência que foi observado para a TCR, que se relaciona ao sombreamento ocasionado pela formação de folhas novas, reduzindo a área fotossintetizante.

A variável AFE (Figura 9d) como variável anatômica da folha da pimenteira-de-cheiro, na fenofase vegetativa, teve uma redução de 169,72 cm² g⁻¹ de folha entre 20 e 30 DAE. Nas fenofase posteriores, houve um aumento gradativo até 359,82 cm² g⁻¹ de folha aos 112 DAE.

Tal fato pode estar relacionado à necessidade da planta em captar maior quantidade de luz no período inicial para a formação e maturação das folhas, o que ocorre com as primeiras folhas até os 30 DAE. A partir deste momento, a planta passa a translocar fotoassimilados para a formação das demais partes, o que promove um novo aumento da AFE.

Em relação à RPF (Figura 9e), na fase vegetativa é alta, pois no início do desenvolvimento a planta ainda não possui estruturas definidas como caule, raiz ou

mesmo frutos. A maior parte da matéria seca da planta neste período é composta pela massa foliar.

Em fenofases posteriores, há um decréscimo da RPF chegando a 64,24% entre 20 DAE e 200 DAE. Este comportamento se deve a uma maior competição por fotossintatos pelas diversas partes da planta, principalmente devido à grande produção de frutos como observado na Figura 8f.

Quanto à TAL (Figura 9f), houve um aumento crescente até os 40 DAE, contudo, o aumento em número e área de folhas novas, causou o sombreamento de folhas mais velhas e consequente queda da TAL dos 40 aos 98 DAE, reduzindo a eficiência fotossintética da planta.

O aumento na produção de frutos (Figura 7b), aumento na formação de folhas novas (Figura 6c), e consequente senescência de folhas mais velhas (Figura 6d) proporcionaram um melhor aproveitamento da luz pela planta e consequente aumento da TAL.

Em estudo com *C. chinense* cv. Pépon, Jaimez e Rada (2015) constataram uma TCR de 25, 50 e 45 mg g⁻¹ dia⁻¹ de folha, caule e raiz, no período entre 50 e 76 DAT, e para frutos de 52 mg g⁻¹ dia⁻¹ no período de 76 a 89 DAT.

Dada e Ogunesu (2016) em cultivo de duas variedades de *C. chinense*, sob efeito de diferentes formas de aplicação de composto orgânico, obtiveram uma TCA, TCR e TAL de 1,98 g g⁻¹ dia⁻¹; 0,07 g g⁻¹ dia⁻¹ e 0,02 g cm⁻² dia⁻¹ para variedade Landrace, e 1,90 g g⁻¹ dia⁻¹; 0,01 g g⁻¹ dia⁻¹ e 0,01 g cm⁻² dia⁻¹ para a variedade NHCaC9, respectivamente.

Charlo et al. (2011) em cultivo de *C. annuum* obtiveram as máximas AFE aos 42 DAT com 136,26 cm² g⁻¹; a TCA de 4,47 g planta⁻¹ dia⁻¹ aos 168 DAT; e com TCR de 0,40 g g⁻¹ dia⁻¹ aos 42 DAT.

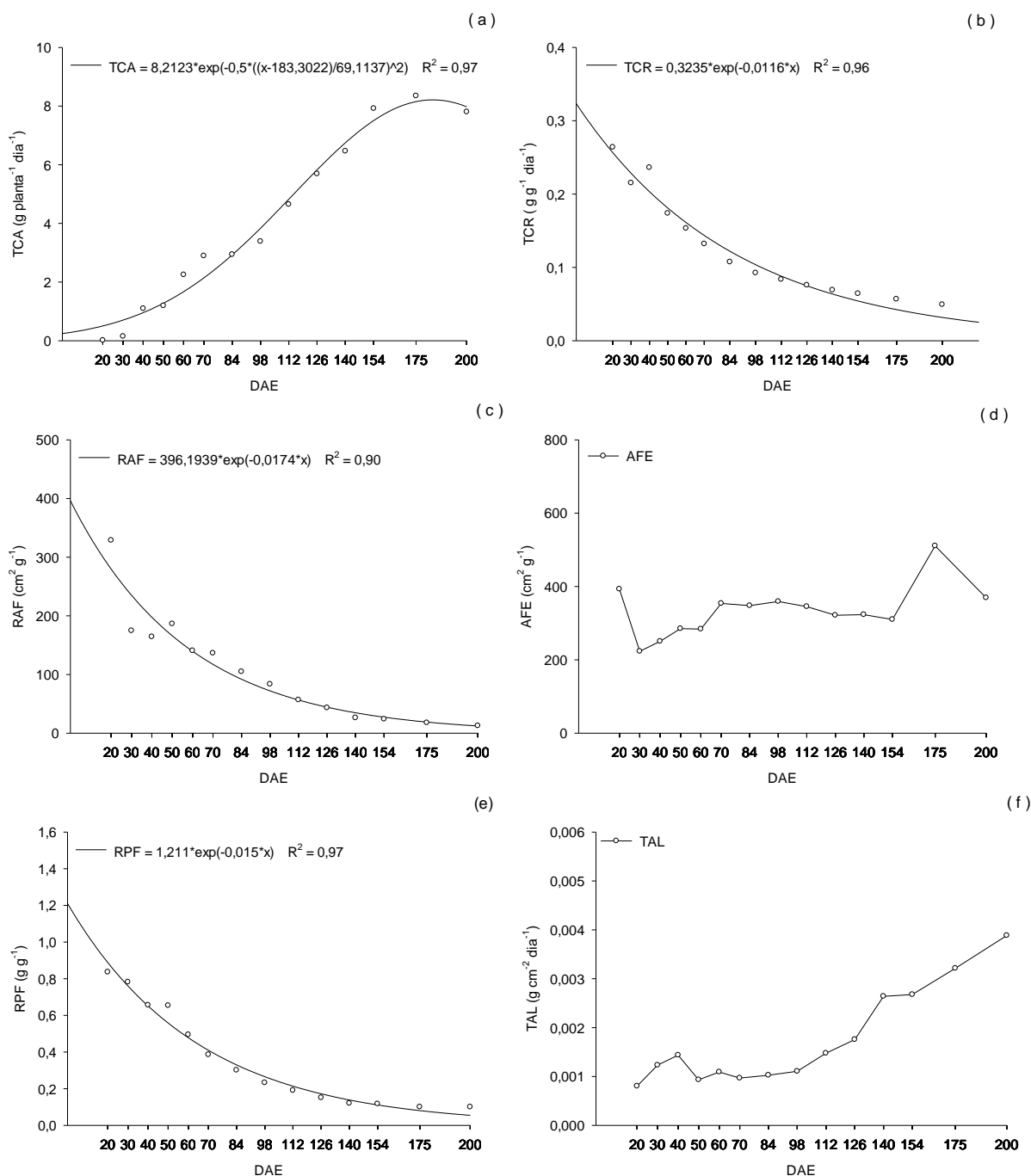


Figura 9. Taxa de crescimento absoluto (a), taxa de crescimento relativo (b) razão área foliar (c), área foliar específica (d) e razão peso foliar (e) e taxa de assimilação líquida (f) de pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação em Manaus, AM.

Com base nos resultados obtidos, a pimenteira-de-cheiro cv. Lupita se divide em três fases fenológicas principais (Figura 5), que são: Fase vegetativa, que inicia com a emergência e encerra aos 40 DAE; Fase reprodutiva, que tem o período entre 40 e 60 DAE; e a Fase de produção, que inicia a partir dos 60 DAE.

Nestas fenofases, a planta investe grande parte dos fotoassimilados na produção de folhas na fase vegetativa, na fase de florescimento há maior investimento em folhas e caule. Na fase produtiva o maior investimento da planta é na formação dos frutos.

5.3. Curvas de acúmulo de macronutrientes em diferentes partes e nas fenofases de crescimento da planta

5.3.1. Nitrogênio

5.3.1.1. Curva de acúmulo de N em partes da planta

De forma geral, o acúmulo de N se adequou ao modelo sigmoide de regressão (Figura 10a), exceto para flor.

Houve um aumento crescente do conteúdo de N na planta, chegando a 1,2; 2,8; 5,8 e 23,8 g planta⁻¹ de N na raiz, caule, folha e fruto, respectivamente aos 200 DAE.

Os frutos foram quem mais acumularam N, chegando a 23,8 g planta⁻¹ de N, o que equivale a pouco mais de 70% do N total da planta. Cerca de 53,3% do N fornecido pela adubação (Tabela 3) foi recuperado e direcionado a formação dos frutos de pimenta-de-cheiro. Além disso, a maior taxa de acúmulo de N no fruto chegou a 347,6 mg planta⁻¹ dia⁻¹ entre 140 e 154 DAE

A folha foi o segundo órgão que mais acumulou N, e seu valor máximo foi de 5,8 g planta⁻¹ o que corresponde a 17,4% do N total da planta. Do total de N fornecido à planta 13,1% foram recuperados do solo e direcionados às folhas da pimenteira-de-cheiro. Com o desenvolvimento foliar, a maior taxa de acúmulo de N na folha foi de 38,6 mg planta⁻¹ dia⁻¹ entre 154 e 175 DAE.

O acúmulo de N no caule foi pouco menor que na folha, alcançando o valor máximo de $2,8 \text{ g planta}^{-1}$ de N, cerca de 8,3% do N total da planta. Aproximadamente 6,3% do N recuperado pela planta foi contido no caule da planta. A taxa de acúmulo de $24,8 \text{ mg planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de N, proporcionou um maior acúmulo no caule entre 98 e 112 DAE.

Na raiz da pimenteira-de-cheiro, o acúmulo de N foi menor que no caule, com o valor máximo de $1,2 \text{ g planta}^{-1}$ de N, o que equivale a 3,6% do N total da planta, e 2,7% do N recuperado do solo. A maior taxa de acúmulo de $9,93 \text{ mg planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ foi entre 84 e 98 DAE.

Em relação à flor, apesar de não se adequar a modelos de regressão propostos, os maiores conteúdos de N nesta parte ocorreram em dois momentos. O primeiro aos 70 DAE obtendo um acúmulo de $96,0 \text{ mg planta}^{-1}$, e num segundo momento, aos 126 DAE com o acúmulo de $109,3 \text{ mg planta}^{-1}$ de N.

Outro aspecto relacionado ao acúmulo de N nas diferentes partes da planta é que aos 112 DAE o acúmulo do N no fruto ultrapassa a metade do N contido em toda a planta (Figura 10b). Ainda, considerando a área ocupada pela planta de $1,0 \text{ m}^2$; a exportação de N pelos frutos alcança cerca de $337,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de N.

Em estudo com *Capsicum annuum* cv. Elisa, Macussi et al. (2004) observaram que em aproximadamente $240 \text{ g planta}^{-1}$ de matéria seca total da planta, com acúmulo total de $6,6 \text{ g planta}^{-1}$ de N, onde $2,4 \text{ g planta}^{-1}$ estavam contidos nos frutos.

Fontes et al. (2005a) obtiveram em cultivo de pimentão, uma média de $0,4 \text{ kg planta}^{-1}$ de matéria seca da parte aérea e $3,1 \text{ kg planta}^{-1}$ de matéria seca de fruto, com 11,5 e $4,6 \text{ g planta}^{-1}$ de N na parte aérea e no fruto, e a uma taxa de acúmulo máxima de $98,2 \text{ mg planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$.

Charlo et al. (2012), relatam que plantas de pimentão cultivadas em fibra de coco e solução nutritiva tiveram um acúmulo de $8,2 \text{ g planta}^{-1}$ de N aos 189 dias após

o transplântio (DAT), sendo a produção de fruto maduro quem mais contribuiu para a acúmulo total, com 4,2 g planta⁻¹, seguido das folhas, caule e raiz com 1,7; 0,9 e 0,2 g planta⁻¹.

Silva (2012) avaliando acúmulo de nutrientes em pimentão enxertado, constatou um acúmulo de N no fruto de até 2,4 g planta⁻¹ em uma massa seca de fruto aproximada de 140 g planta⁻¹.

5.3.1.2. Acúmulo de N na planta em diferentes fenofases

Ao final da fenofase vegetativa, a pimenteira-de-cheiro acumulou 1,4 g planta⁻¹ de N, representando 6,3% da matéria seca total da planta (Figura 8g) neste período. Considerando a aplicação de 3,6 g planta⁻¹ de N até o final da fenofase vegetativa (40 DAE), a planta conseguiu recuperar aproximadamente 38 % do N aplicado, os demais 62% foram perdidos.

Na fenofase de florescimento houve um acúmulo de 3,7 g planta⁻¹ de N, o que representou 4,1% da matéria seca total da planta aos 60 DAE. Até este período haviam sido aplicados 6,0 g planta⁻¹ de N, o que proporcionou um aproveitamento de 61% do N aplicado.

O acúmulo de N ao final da fenofase de produção foi de 33,7 g planta⁻¹, representando cerca de 2,3 % da matéria seca total da planta. Considerando que foram fornecidos 44,6 g planta⁻¹ de N, até o final do experimento, a planta conseguiu a recuperação de 75,5% do N aplicado.

Os resultados observados pelo presentes estudo, quanto a distribuição do N nas diferentes partes da planta, e nas diferentes fenofases são justificados pelo fato de o N ser um nutriente móvel na planta (MARCHNER, 2012; EPSTEIN e BLOOM, 2006), e seu metabolismo estar intimamente relacionado com o do carbono (LEVEY et al., 2000; TAIZ e ZEIGER, 2013), sendo transportado da folha para outras partes

da planta na forma de aminoácidos, amidas e outros compostos nitrogenados, principalmente devido ao alto requerimento no período de frutificação.

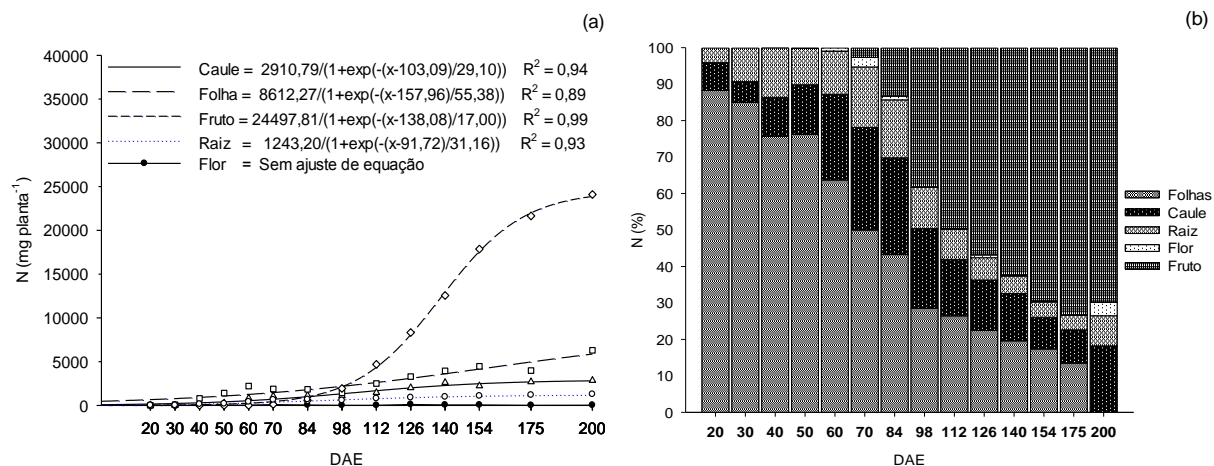


Figura 10. Acúmulo (a) e percentual (b) de N em raiz, caule, folha, flor e fruto de pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação em Manaus, AM.

5.3.2. Fósforo

5.3.2.1. Curva de acúmulo de P em partes da planta

O acúmulo de P nas folhas e nos frutos se adequaram ao modelo sigmoide de regressão (Figura 11a), os acúmulos nas demais partes da planta não se adequaram a nenhum modelo proposto de regressão.

Os acúmulos de P foram crescentes em folhas e frutos com valores máximos de 0,4 e 3,3 g planta⁻¹ de P (Figura 11a) aos 200 DAE.

De forma semelhante ao N, os frutos foram quem mais acumularam P, chegando a 3,3 g planta⁻¹ de P, representando cerca de 88,5% do P total da planta. Ainda de 18,5% do P fornecido pela adubação (Tabela 3) foi recuperado e direcionado à formação dos frutos de pimenta-de-cheiro. Além disso, a maior taxa de acúmulo de P no fruto foi de 50,78 mg planta⁻¹ dia⁻¹ entre 126 e 140 DAE.

A segunda parte que mais acumulou P foi a folha, obtendo o valor máximo de acúmulo de $0,4 \text{ g planta}^{-1}$ o que corresponde a 11,5% do P total da planta. Foram recuperados 2,4% do P aplicado no solo e retidos nas folhas. Durante o período experimental, a maior taxa de acúmulo de P na folha foi $0,3 \text{ g planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ entre 175 e 200 DAE.

Os acúmulos máximos de P no caule, raiz e flor foram de 0,46; 0,11 e 0,01 g planta^{-1} em períodos variados de análise. A maior quantidade do fornecido pela adubação está disponível ou adsorvido no solo.

A exportação de P pela planta foi de $4,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de P, porém, a quantidade de P exportada somente pelos frutos é de $3,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de P. Ainda foi observado que aos 98 DAE o P no fruto representou mais de 50% do P total da planta, chegando a 83,43% do P Total aos 175 DAE (Figura 11b).

Silva et al. (2001), encontraram um acúmulo de aproximadamente 500,0 mg de P planta^{-1} na parte aérea do pimentão aos 238 dias de cultivo, dos quais 90% estavam retidos no fruto.

Macussi et al. (2004) observaram que o pimentão Elisa, apresentou um acúmulo de 720,0 mg planta^{-1} de P, e cerca de 360,0 mg planta^{-1} de P contidos nos frutos. Fontes et al. (2005) obtiveram um acúmulo crescentes de P na parte aérea e no fruto com máxima de 1.398,0 e 837 mg planta^{-1} de P e na primeira amostragem apresentou uma taxa de acúmulo de $33,5 \text{ mg planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$.

Também avaliando a absorção de nutrientes em pimentão, Charlo et al. (2012), notaram que o maior acúmulo de P na planta é pertencente aos frutos com 820,0 mg planta^{-1} de um total de 1.140,0 mg planta^{-1} aos 189 dias após o transplantio (DAT), seguido do caule, folhas e raiz. Silva (2012) em pimentão enxertado observou que aos 143 DAT a planta e fruto podem alcançar até 150,0 e 460,0 mg planta^{-1} de P, respectivamente.

5.3.2.2. *Acúmulo de P na planta em diferentes fenofases*

Ao final da fenofase vegetativa, a pimenteira-de-cheiro acumulou 80,0 mg planta⁻¹ de P, representando 0,2% da matéria seca total da planta (Figura 8g) neste período. Considerando a aplicação de 11,7 g planta⁻¹ de P até o final da fenofase vegetativa (40 DAE), a planta conseguiu recuperar aproximadamente 0,6 % do P aplicado.

Na fenofase de florescimento houve um acúmulo de 280,5 g planta⁻¹ de P, o que representou 0,2% da matéria seca total da planta aos 60 DAE. Até este período havia sido fornecido somente a adubação básica inicial de P, o que proporcionou um aproveitamento de 0,1% do P aplicado.

O acúmulo de P ao final da fenofase de produção foi de 4,0 g planta⁻¹, representando cerca de 0,2 % da matéria seca total da planta. Considerando que foram fornecidos 17,6 g planta⁻¹ de P, até o final do experimento, a planta conseguiu a recuperação de 22,8% do p aplicado.

Os resultados apresentados por esse estudo no acúmulo de P nas partes da planta, como nas diferentes fenofases, ajuda a compreender que na fase inicial de desenvolvimento da pimenteira-de-cheiro, o P por ser componente de estruturas como os fosfolipídios para configuração da membrana celular, adenosina trifosfato, entre vários compostos fosfatados (PESSARKLI, 2001; DUCA, 2015), se limita às folhas, caule e raiz.

No entanto, no período de produção, grande parte desses compostos são formados ou transportados devido a mobilidade de P (MALAVOLTA, 1980; MARSCHNER, 2012) para os frutos, que requerem grande quantidade deste nutriente para formação do fruto e principalmente da reserva das sementes na forma de fitatos (BENTSINK et al., 2003).

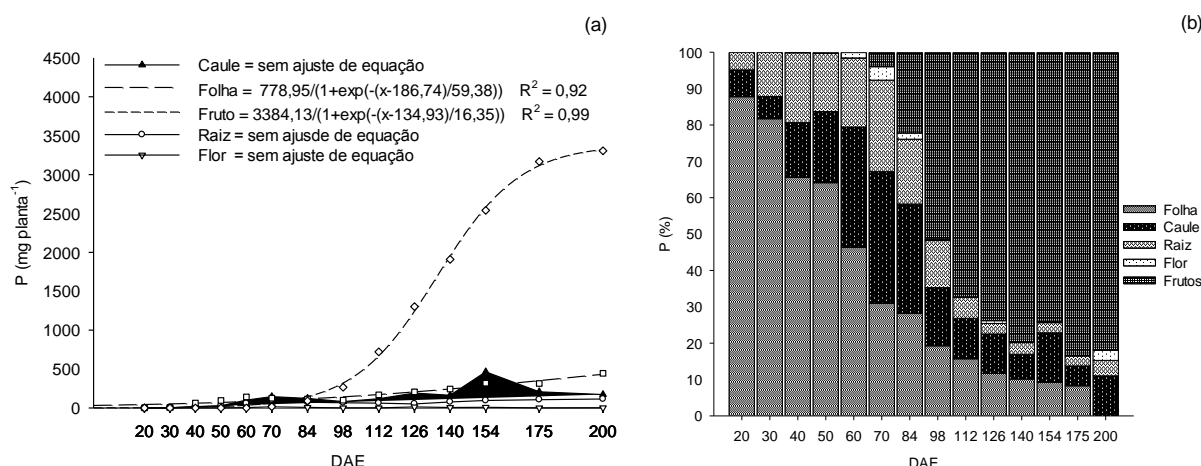


Figura 11. Acúmulo (a) e percentual (b) de P em raiz, caule, folha, flor e fruto de pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação em Manaus, AM.

5.3.3. Potássio

5.3.3.1. Curva de acúmulo de K em partes da planta

De forma semelhante ao N e P, os acúmulos de K para caules, folhas e frutos apresentaram adequação ao modelo sigmoide de regressão (Figura 12a), exceto para flor e raiz.

Houve um aumento crescente no acúmulo de K na pimenteira-de-cheiro para caule, folhas e frutos (Figura 12a), dados que representam uma recuperação de 328,58 kg ha⁻¹ de K.

O fruto foi a parte da planta que mais acumulou K, chegando a 26,8 g planta⁻¹ de K, o equivalente a pouco mais de 82% do K total da planta sendo exportado pelos frutos. A recuperação pelos frutos, do K total aplicado no substrato (Tabela 3) foi de 74,2%. Além disso, a maior taxa de acúmulo no fruto chegou 380,45 mg planta⁻¹ dia⁻¹ de K entre 126 e 140 DAE. Estima-se que pela produção de frutos, a pimenteira-de-cheiro pode exportar em torno de 268,10 kg ha⁻¹ de K.

Na folha, o máximo acúmulo foi de 3,2 g planta⁻¹ de K o que corresponde a 9,8% do K total da planta. Foram recuperados pelas folhas 8,9% do K aplicado no

solo. A maior taxa de acúmulo de K na folha foi de 19,23 mg planta⁻¹ dia⁻¹ de K entre 112 e 126 DAE. Estima-se que a exportação pelas folhas em tais condições chegue a 32,2 kg ha⁻¹.

O acúmulo de K no caule teve o valor máximo de 2,5 g planta⁻¹ de K, cerca de 7,5% do K total da planta. Em torno de 6,8% do K aplicado no substrato, foi recuperado no caule da planta. A maior taxa de acúmulo de K no caule foi 48,60 mg planta⁻¹ dia⁻¹ entre 60 e 70 DAE. Os resultados estimados para a exportação de K pelo caule foi de 24,5 kg ha⁻¹.

O acúmulo de K na raiz da pimenteira-de-cheiro aos 200 DAE foi 0,4 g planta⁻¹ de K, o que equivale a 1,1% do K total da planta, e 1,0% do K recuperado do solo, o que equivale a 3,6 kg ha⁻¹ de K retidos na raiz.

Em relação a flor, os maiores conteúdos de K ocorreram em dois momentos, o primeiro aos 70 DAE obtendo um acúmulo de 63,5 mg planta⁻¹, e o segundo momento, aos 126 DAE com o acúmulo de 69,5 mg planta⁻¹ de K.

Aos 112 DAE o percentual de K acumulado no fruto representou mais de 60% de todo o K acumulado na planta, chegando ao nível de 80% aos 200 DAE (Figura 12b), corroborando Silva et al. (2001) ao constatarem que aos 234 DAT cerca de 80% do K está contido no fruto de pimentão.

Na matéria seca total do pimentão, Macussi et al. (2004) encontraram 6.450,0 mg planta⁻¹ de K, com a extração pelo fruto de 2,0 g planta⁻¹, mesma quantidade que foi retida nas folhas da planta.

Fontes et al. (2005b) obtiveram um acúmulo crescente de P na parte aérea e no fruto, com máxima de 14.991,0 e 5.993,0 mg planta⁻¹ de K, sendo a máxima taxa de acúmulo de 98,5 mg planta⁻¹ dia⁻¹ no final do ciclo produtivo do pimentão, sendo resultados inferiores ao do presente estudo.

Charlo et al. (2012), em cultivo de pimentão alcançaram um total acumulado de 7.840,0 mg planta⁻¹ de K, que representa uma extração de 196,0 kg ha⁻¹ de K (25.000 plantas ha⁻¹), resultado consideravelmente abaixo do encontrado no presente estudo.

5.3.3.2. *Acúmulo de K na planta em diferentes fenofases*

Ao final da fenofase vegetativa, a pimenteira-de-cheiro acumulou 1,4 g planta⁻¹ de K, representando 6,6% da matéria seca total da planta (Figuras 12a, 12b) neste período. Considerando a aplicação de 3,4 g planta⁻¹ de K até o final da fenofase vegetativa (40 DAE), a planta conseguiu recuperar aproximadamente 42,5 % do K aplicado. Ao final desta fenofase, 60 % do K na planta estava retido na folha, 21% no caule e o restante nas raízes.

Na fenofase de florescimento, o acúmulo alcançou 2,8 g planta⁻¹ de K, o equivalente a 3,1 % da matéria seca total da planta aos 60 DAE. Até este período haviam sido aplicados 5,8 g planta⁻¹ de K, o que proporcionou um aproveitamento de 48,4 % do K aplicado. Ao final desta fenofase, 41% do K na planta estava retido na folha, 36% no caule, 15% nas raízes e o restante nas flores.

O acúmulo de K ao final da fenofase de produção foi de 32,9 g planta⁻¹, representando cerca de 2,2 % da matéria seca total da planta. Considerando que foram fornecidos 36,9 g planta⁻¹ de K, até o final do experimento, a planta conseguiu a recuperação de 91% do K aplicado.

Tal comportamento, tanto para partes da planta como para as fenofases mostram que o K é um dos nutrientes mais requeridos pela planta em todos os períodos de desenvolvimento.

Na fase inicial de crescimento o K pode estar sendo armazenado nos vacúolos das células no caule para um requerimento posterior para a produção de frutos. Além disso, na planta o K participa dos processos de formação do ATP, respiração foliar,

ativação de mais de 60 enzimas, entre vários processos metabólicos (TAIZ e ZEIGER, 2013; DUCA, 2015).

Na fase de produção, o K por ser altamente móvel na planta, atua ajudando a criar um gradiente osmótico no floema, que proporciona a mobilidade de aminoácidos e sucrose no sentido do dreno (KUMAR et al., 2006).

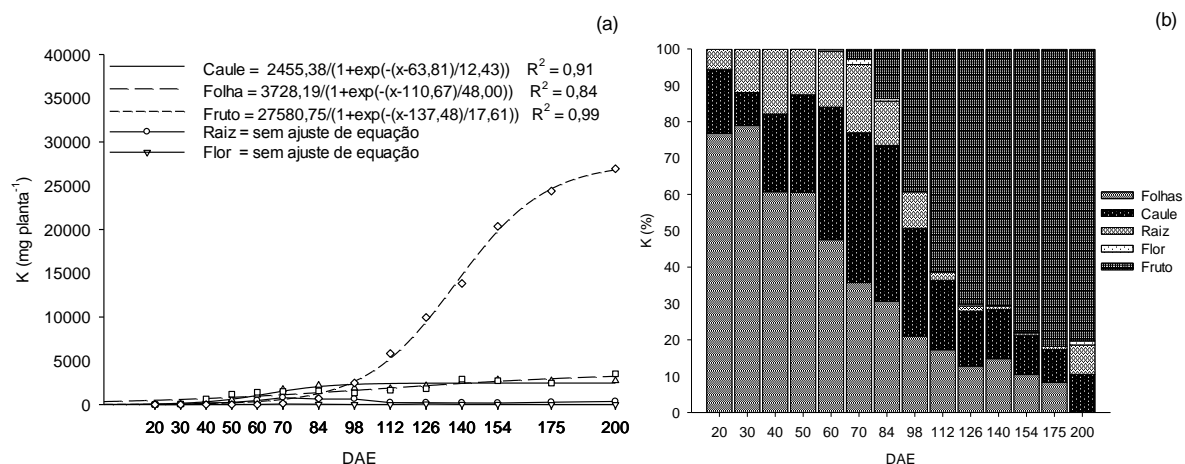


Figura 12. Acúmulo (a) e percentual (b) de K em raiz, caule, folha, flor e fruto de pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação em Manaus, AM.

5.3.4. Cálcio, Magnésio e Enxofre

5.3.4.1. Curva de acúmulo de Ca, Mg e S em partes da planta

De forma geral, os acúmulos de Ca, Mg e S foram crescentes, se adequando ao modelo sigmoide de regressão (Figuras 13a, 13c e 13e) nas partes da planta, exceto para flor e Mg e S na raiz, que não se adequaram a nenhum modelo de regressão.

No fruto, os maiores valores de Ca, Mg e S foram de 1,5; 1,3 e 1,9 g planta⁻¹ aos 200 DAE. Estes resultados acumulados equivalem a aproximadamente 28; 61 e 63% do Ca, Mg e S total da planta contidos nos frutos.

A partir do fornecimento de aproximadamente 21,7 g planta⁻¹ de Ca e 3,8 g planta⁻¹ de Mg via calagem, além de 4,5 g planta⁻¹ de S, estima-se um aproveitamento

de 7; 34 e 43% de Ca, Mg e S, respectivamente. As maiores taxas de acúmulo diário para Ca, Mg e S foram de 13,5; 4,1 e 6,4 mg planta⁻¹ dia⁻¹ aos 126, 84 e 70 DAE, respectivamente. A exportação de nutrientes pela planta foi estimada em 15,2; 13,1 e 19,2 kg ha⁻¹ de Ca, Mg e S, respectivamente.

O maior acúmulo de Ca na folha foi 21% maior que nos frutos, chegando a 1,9 g planta⁻¹. Os conteúdos de Mg e S na folha chegaram a 0,5 g planta⁻¹ para ambos os elementos, acúmulos estes que correspondem a 35; 23 e 17% de Ca, Mg e S total na planta (Figuras 13b, 13d e 13f). Do total de Ca, Mg e S fornecido à planta, cerca de 8, 13 e 11 % foram recuperados do solo e direcionados às folhas da pimenteira-de-cheiro. As maiores taxas de acúmulo diário para Ca, Mg e S foram de 13,5; 4,1 e 6,4 mg planta⁻¹ dia⁻¹ aos 126, 84 e 70 DAE, respectivamente

O caule foi o segundo órgão da planta que mais acumulou Ca, chegando a 1,5 g planta⁻¹ de Ca. O Mg e o S obtiveram um acúmulo máximo de 0,3 e 0,5 g planta⁻¹ respectivamente no caule. Tais valores equivalem a 7, 7 e 10% do Ca, Mg e S fornecido pelas adubações, representando em torno de 15,4; 2,6 e 4,5 kg ha⁻¹ de Ca, Mg e S recuperados e retidos no caule. A taxa de acúmulo de 12,4; 3,8 e 3,9 mg planta⁻¹ dia⁻¹ de Ca, Mg e S, aos 112 DAE para Ca e S e 84 DAE para Mg.

Na raiz da pimenteira-de-cheiro, o acúmulo final de Ca, Mg e S foram 0,48; 0,07 e 0,12 g planta⁻¹ respectivamente o que equivale a 8,9; 3,2 e 4,2% do Ca, Mg e S total da planta, e cerca de 2,2; 1,8 e 2,8% do Ca, Mg e S fornecido por meio da calagem e adubação. A maior taxa de acúmulo de Ca, Mg e S foram de 10,2; 6,0 e 13,2 mg planta⁻¹ dia⁻¹ aos 70 DAE.

Estes resultados contrastam com os encontrados por Silva et al. (2001), que obtiveram aproximadamente 20% de Ca; 30% de Mg e 70% de S contidos no fruto em relação ao percentual total em *C. chinense*.

Em pesquisa desenvolvida por Marcussi et al. (2004) os máximos acúmulos de Ca, Mg e S em frutos de pimentão foram de 444,0; 234,3 e 365,6 mg planta⁻¹, representando uma extração de 14,2; 7,9 e 13,1 kg ha⁻¹ de Ca, Mg e S, respectivamente.

Ainda para Ca, Mg e S, Fontes et al. (2005) encontraram em frutos de pimentão os acúmulos de 1.643,0; 460,0 e 493,0 mg planta⁻¹, assim como Charlo et al. (2012) verificaram um acúmulo de 250,0; 400,0 e 1.030,0 mg planta⁻¹, e Silva (2012) verificou 140,0; 190,0 e 260,0 g planta⁻¹, respectivamente, acumulados nos frutos, ambos para *C. chinense*.

5.3.4.2. *Acúmulo de Ca, Mg e S na planta em diferentes fenofases*

Ao final da fenofase vegetativa, a pimenteira-de-cheiro acumulou 0,4; 0,2 e 0,2 g planta⁻¹ de Ca, Mg e S (Figuras 13a, 13c e 13e), representando 2,1; 0,8 e 1,0% da matéria seca total da planta (Figura 8g) neste período. Considerando a aplicação de 14,1; 2,5 e 2,2 g planta⁻¹ de Ca, Mg e S até o final da fenofase vegetativa, a pimenteira-de-cheiro conseguiu recuperar em torno de 3,2; 7,4 e 10,7 % do Ca, Mg e S aplicado, o que representa 4,6; 1,9 e 2,2 kg ha⁻¹ respectivamente.

Na fenofase de florescimento houve um acúmulo de 0,8; 0,3 e 0,4 g planta⁻¹ de Ca, Mg e S, o que representou 0,9; 0,4 e 0,5% da matéria seca total da planta aos 60 DAE. Até este período haviam sido aplicados 14,1; 2,5 e 2,2 g planta⁻¹ de Ca, Mg e S, o que proporcionou um aproveitamento de 6,0; 15,4 e 20,3% do Ca, Mg e S aplicado. Esses valores representam 8,5; 3,9 e 4,5 kg ha⁻¹ de Ca, Mg e S.

O acúmulo de Ca, Mg e S ao final da fenofase de produção foi de 5,5; 2,1 e 3,0 g planta⁻¹, representando cerca de 0,3; 0,1 e 0,2 % da matéria seca total da planta. Considerando que foram fornecidos 21,7; 3,8 e 4,5 g planta⁻¹ de Ca, Mg e S, até o

final do experimento, a planta conseguiu a recuperação de 25, 56 e 67% do Ca, Mg e S aplicado, representando cerca de 55,6; 21,5 e 30,2 kg ha⁻¹ respectivamente.

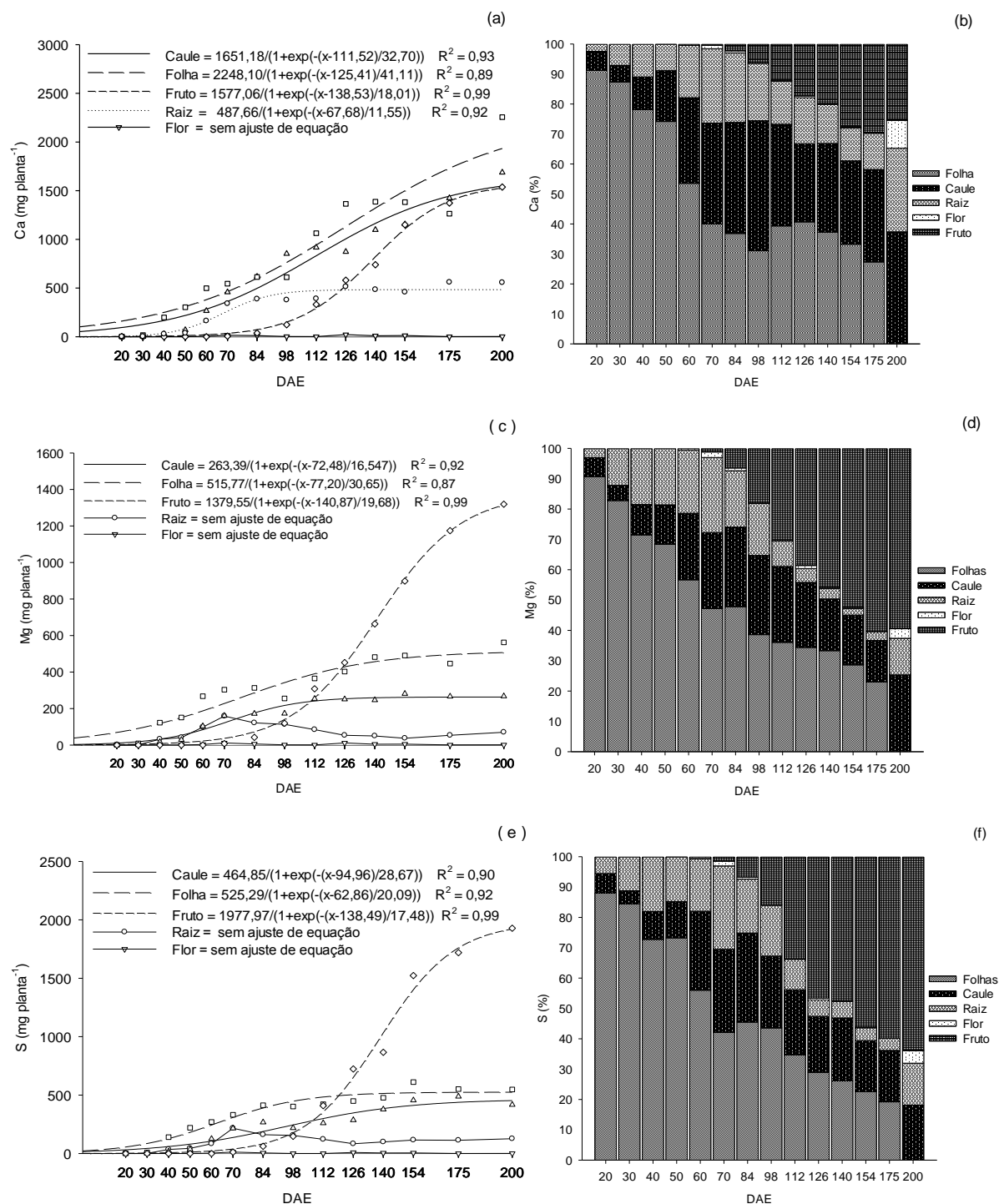


Figura 13. Acúmulo e percentual de cálcio (a e b), magnésio (c e d) e enxofre (e e f) em caule, folhas, fruto, raiz e flor de pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação em Manaus, AM.

Estes resultados mostram que o requerimento de Ca pelos frutos foi menor que na folha e no caule, considerando que o Ca é imóvel no floema e participa

principalmente na estruturação da parede e da membrana celular, entre outros compostos (WYN JONES e LUNT, 1967; MALAVOLTA, 1980; WHITE e BROADLEY, 2003). Assim, não há translocação do Ca de outras partes da planta para compor a estrutura dos frutos.

Em relação ao Mg, este participa de vários processos na planta como, divisão celular e mesmo transporte de fotoassimilados (KRETSINGER et al., 2013), ainda compõe estruturas importantes da planta como a clorofila (TAIZ e ZEIGER, 2013; DUCA, 2015). É possível que devido a predominar o fruto verde em grande parte do ciclo de formação do fruto, tenha proporcionado uma retenção do Mg nesta parte da planta principalmente pela clorofila.

5.3.5. Percentual de acúmulo de macronutrientes

As interações foram significativas entre os percentuais de macronutrientes e as partes das plantas de pimenteira-de-cheiro ($p < 0,01$). O N e o K foram os nutrientes que mais se acumularam em todas as partes das plantas (Tabela 5).

Nos caules, o K manteve-se significativamente superior aos demais macronutrientes, até os 140 DAE, onde o N apresentou percentuais de acúmulo muito próximo ao do K, igualando-se estatisticamente até os 200 DAE.

Comportamento semelhante foi observado na raiz, onde o acúmulo de K foi estatisticamente superior aos demais nutrientes até os 70 DAE, a partir do momento que houve um aumento no acúmulo de N e redução de K até os 200 DAE.

O conteúdo de K nos frutos foi ligeiramente superior ao de N, porém estatisticamente diferentes. O conteúdo de N nas flores e folhas foi superior ao dos demais nutrientes, exceto para o acumulado de K em flores aos 98 DAE (Tabela 5).

Logo, os resultados demonstram que o acúmulo de macronutrientes seguiu a seguinte série liotrópica aos 200 DAE: Fruto = $K > N > P > S > Ca > Mg$; Folha =

N>K>Ca>Mg>S>P; Caule = N>K>Ca>S>Mg>P; Raiz = N>Ca>K>S>P>Mg; Flor = N>K>Ca>P>Mg>S e total na planta = N>K>Ca>P>S>Mg.

Tais resultados diferem dos relatados por Silva et al. (2001) que observaram a ordem de acúmulo de macronutrientes em pimentão em 34 semanas como K>N>Ca>S>P>Mg; Marcussi et al. (2004) que aos 140 DAT encontraram a seguinte ordem de acúmulo na massa seca total de pimentão: N>K>Ca>Mg>S>P; Fontes et al. (2005) com a ordem K>N>Ca>Mg>P>S e Charlo et al. (2012) N>K>Ca>S>Mg>P todos em estudo com *C. annuum*.

Esses resultados demonstram que mesmo dentro de uma espécie há diferença entre a preferência de acúmulo entre os nutrientes.

Tabela 6. Percentual de macronutrientes em caule, flor, folha fruto, raiz e total da planta de pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação em Manaus, AM.

Parte da Planta	Nutrientes	Dias após a emergência (DAE)													
		20	30	40	50	60	70	84	98	112	126	140	154	175	200
Caule	N	29,8 b	33,1 b	27,3 b	26,8 b	32,7 b	28,1 b	25,0 b	25,7 b	30,4 b	35,0 b	36,5 a	30,2 b	34,6 a	35,2 a
	K	57,6 a	48,6 a	54,1 a	55,8 a	43,4 a	45,8 a	48,7 a	43,5 a	37,6 a	37,2 a	37,0 a	38,1 a	34,7 a	33,5 a
	Ca	4,6 c	7,3 c	6,7 c	7,4 c	10,7 c	12,2 c	13,8 c	19,8 c	19,0 c	15,1 c	15,4 b	15,5 c	18,4 b	20,8 b
	S	2,5 d	3,6 d	4,3 d	3,9 d	5,0 d	5,7 d	5,9 d	5,1 d	5,4 d	5,0 d	5,3 c	6,2 d	6,3 c	5,2 c
	Mg	2,8 d	4,0 d	4,1 d	3,1 d	4,2 e	4,3 e	3,8 e	4,0 d	5,2 d	4,3 d	3,5 cd	3,8 e	3,4 d	3,3 d
	P	2,7 d	3,5 d	3,5 d	3,1 d	4,1 e	3,9 e	2,7 f	1,9 e	2,5 e	3,3 d	2,3 d	6,3 d	2,7 d	2,1 d
Flor	N	0,0 a	0,0 a	52,3 a	50,6 a	50,4 a	45,2 a	39,0 a	25,8 b	46,3 a	46,7 a	46,8 a	46,9 a	45,4 a	53,9 a
	K	0,0 a	0,0 a	27,2 b	28,7 b	27,1 b	29,6 b	33,1 b	42,0 a	29,8 b	29,7 b	30,0 b	27,7 b	26,2 b	22,5 b
	Ca	0,0 a	0,0 a	6,7 c	6,9 c	6,5 d	7,1 c	10,8 c	14,7 c	9,5 c	9,1 c	9,1 c	10,4 c	11,6 c	9,5 c
	P	0,0 a	0,0 a	6,4 c	6,6 c	7,4 c	6,9 c	6,5 d	6,8 d	6,3 d	5,7 d	5,6 d	6,4 d	7,2 d	7,1 d
	Mg	0,0 a	0,0 a	2,9 d	2,9 d	4,1 e	5,4 d	5,6 de	6,3 d	4,4 e	5,0 d	4,4 d	4,4 e	5,5 de	3,6 e
	S	0,0 a	0,0 a	4,4 d	4,3 d	4,5 e	5,8 cd	5,1 e	4,4 e	3,7 e	3,8 d	4,1 d	4,2 e	4,0 e	3,4 e
Folha	N	44,8 a	41,0 a	40,7 a	41,8 a	46,0 a	40,1 a	37,8 a	34,9 a	40,6 a	43,8 a	41,9 a	44,7 a	44,2 a	46,2 a
	K	32,7 b	34,6 b	32,5 b	35,2 b	29,4 b	32,0 b	32,3 b	32,0 b	26,6 b	24,1 b	30,5 b	27,3 b	27,3 b	25,9 b
	Ca	8,5 c	9,5 c	10,2 c	9,0 c	10,4 c	11,7 c	12,6 c	14,8 c	17,2 c	18,1 c	14,8 c	13,8 c	14,0 c	16,5 c
	Mg	5,2 d	5,5 d	6,2 d	4,5 e	5,6 d	6,5 d	6,5 e	6,2 e	5,9 d	5,3 d	5,1 d	4,9 de	5,0 de	4,1 d
	S	4,5 d	5,6 d	7,2 d	6,6 d	5,6 d	7,1 d	8,5 d	9,7 d	6,8 d	6,0 d	5,1 d	6,1 d	6,1 d	4,0 d
	P	4,2 d	3,9 e	3,2 e	2,8 f	3,0 e	2,7 e	2,4 f	2,4 f	2,7 e	2,7 e	2,6 e	3,2 e	3,5 e	3,3 d
Fruto	K	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	44,7 a	46,7 a	48,9 a	47,4 a	46,6 a	45,3 a	45,9 a	45,6 a	45,6 a
	N	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	39,3 b	37,8 b	38,2 b	38,2 b	39,0 b	41,1 b	40,3 b	40,5 b	40,8 b
	P	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	6,2 c	6,1 c	5,3 c	5,9 c	6,1 c	6,2 c	5,7 c	5,9 c	5,6 c
	S	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	4,5 d	4,1 d	2,9 d	3,3 d	3,4 d	2,8 d	3,4 d	3,2 d	3,3 d
	Ca	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	2,2 e	2,5 e	2,4 d	2,7 d	2,7 d	2,4 d	2,6 d	2,6 d	2,6 d
	Mg	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	3,0 e	2,8 e	2,4 d	2,5 d	2,1 d	2,2 d	2,0 d	2,2 d	2,2 d
Raiz	N	38,5 b	35,5 b	32,2 b	32,2 b	32,3 b	28,0 b	33,1 a	29,9 b	47,3 a	49,7 a	52,0 a	55,2 a	51,9 a	50,8 a
	Ca	4,2 cd	6,1 c	6,3 c	6,3 c	12,8 c	15,3 c	18,9 c	19,7 c	23,4 b	28,6 b	26,0 b	23,2 b	24,6 b	22,2 b
	K	44,6 a	41,5 a	42,4 a	42,4 a	36,0 a	35,3 a	30,6 b	32,9 a	13,2 c	11,3 c	9,9 c	9,0 c	11,5 c	14,4 c
	S	5,2 c	5,9 c	7,8 c	7,7 c	6,6 e	9,7 d	7,9 d	8,1 d	7,3 d	4,6 d	5,3 d	5,9 d	5,0 d	5,1 d
	P	4,3 cd	4,6 d	4,1 d	4,2 d	4,6 f	4,6 f	3,6 f	3,5 f	3,7 e	2,8 d	4,1 de	4,9 d	4,7 d	4,6 d
	Mg	3,2 d	6,4 c	7,2 c	7,2 c	7,8 d	7,1 e	5,9 e	5,9 e	5,1 e	2,9 d	2,6 e	1,9 e	2,4 e	2,8 e
Total da Planta	N	42,9 a	39,9 a	37,4 a	37,8 b	40,2 a	33,7 b	32,6 b	32,8 b	37,9 a	39,9 a	41,0 a	40,3 a	40,7 a	41,4 a
	K	36,0 b	36,2 b	37,3 a	40,0 a	34,4 b	37,6 a	39,4 a	40,9 a	38,1 a	38,7 b	39,9 b	40,9 a	41,1 a	40,2 b
	Ca	7,9 c	9,0 c	9,0 b	8,4 c	10,8 c	12,3 c	12,8 c	12,8 c	10,8 b	9,2 c	7,6 c	6,5 b	6,4 b	7,2 c
	P	4,1 d	3,9 e	3,4 d	3,1 f	3,5 e	3,6 f	3,1 f	3,3 f	4,3 c	4,8 d	4,9 d	5,4 c	5,2 c	4,8 d
	S	4,3 d	5,5 d	6,8 c	6,2 d	5,6 d	7,1 d	7,0 d	6,0 d	4,9 c	4,2 d	3,7 e	4,2 d	4,0 d	3,6 e
	Mg	4,9 d	5,5 d	6,1 c	4,5 e	5,5 d	5,8 e	5,0 e	4,3 e	4,1 c	3,2 e	2,9 e	2,7 e	2,7 e	2,7 F

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

5.4. Curvas de acúmulo de micronutrientes em diferentes partes e nas fenofases de crescimento da planta

De forma geral, o acúmulo de micronutrientes ocorreu de forma sigmoide, exceto para acúmulo de Fe no caule, que se adequou ao modelo de pico (Lorentziana). Para Zn na raiz, houve adequação ao modelo logístico. Todos os micronutrientes acumulados na flor e Mn na raiz não apresentaram ajustes aos modelos de regressão (Figura 14).

5.4.1. Boro, cobre, ferro, manganês e zinco

5.4.1.1. Curva de acúmulo de B, Cu, Fe, Mn e Zn em partes da planta

Os acúmulos de B, Cu, Fe, Mn e Zn aos 200 DAE na raiz foram de 0,54; 0,53; 219,33; 1,73 e 3,47 mg planta⁻¹, no caule foram de 1,97; 0,56; 3,56; 4,00 e 4,31 mg planta⁻¹, na folha foram 6,31; 0,62; 28,20; 12,36 e 5,83 mg planta⁻¹ e no fruto foram de 15,80; 5,58; 28,58; 13,52 e 26,78 mg planta⁻¹ (Figura 14a, 14c, 14e, 14g e 14i).

Os acúmulos de Fe no caule e Mn na raiz apresentaram comportamento diferente dos demais nutrientes. Para o acúmulo de Fe no caule seu valor máximo foi de 17,58 mg planta⁻¹ aos 140 DAE, em seguida há uma redução mesmo com a matéria seca do caule sendo crescente (Figura 8b), o que indica uma mobilização deste elemento para outra parte da planta (dreno) que pode ser o fruto e/ou folha, logo que o Fe é um elemento de baixa mobilidade na planta (MENGEL e KIRKBY, 2001; MARSCHNER, 2012).

As maiores taxas de acúmulo de Fe na raiz foram de 2,52 mg planta⁻¹ dia⁻¹ e na folha foi de 0,27 mg planta⁻¹ dia⁻¹ que ocorreram entre 84 e 98 DAE, período que antecede a maior taxa de acúmulo no caule (0,34 mg planta⁻¹ dia⁻¹) e no fruto (0,61 mg planta⁻¹ dia⁻¹) entre 112 e 126 DAE.

Os maiores acúmulos e taxas de acúmulo de Fe, na parte aérea da planta (Figura 11e) são referentes ao fruto, e em segundo lugar as folhas com resultados muito próximos entre os órgãos.

Assim como o Fe, outros micronutrientes apresentaram as maiores taxas de acúmulo em cada parte da planta em períodos diferentes, como o B que alcançou no caule a taxa de $0,038 \text{ mg planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ entre 60 e 70 DAE, e na folha $0,050 \text{ mg planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ entre 98 e 112 DAE e no fruto de $0,23 \text{ mg planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ entre 140 e 126 DAE.

Da mesma forma, para o Cu, as máximas contribuições diárias foram de 0,021; 0,018; 0,004 e $0,076 \text{ mg planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ entre 175 e 200 DAE para raiz, 60 e 70 DAE para caule, 84 e 98 DAE para folha e 140 e 154 DAE para fruto.

Folhas de pimenteira-de-cheiro tiveram as maiores taxas de acúmulo de Mn e Zn entre 112 e 126 DAE, com $0,028 \text{ mg planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de Mn e $0,041 \text{ mg planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de Zn. Nos frutos as maiores taxas de acúmulo de Mn e Zn correram entre 140 e 154 DAE com $0,162 \text{ mg planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de Mn e $0,375 \text{ mg planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de Zn.

Em relação à distribuição dos nutrientes entre as partes da planta durante o período de condução do experimento, até os 70 DAE, mais da metade do B contido na planta estava presente nas folhas, e após os 126 DAE este percentual passa a ser maior no fruto (Figura 14b).

Para o Cu, a metade de seu conteúdo na planta esteve presente somente até os 50 DAE, onde se distribui principalmente para a raiz (44,6% aos 70 DAE) e posteriormente para os frutos a partir dos 140 DAE (Figura 14d).

A folha apresentou o maior percentual de acúmulo de Mn até os 154 DAE com redução gradual, e aos 175 DAE o fruto passa a ter maior percentual de acúmulo de Mn (Figura 14f).

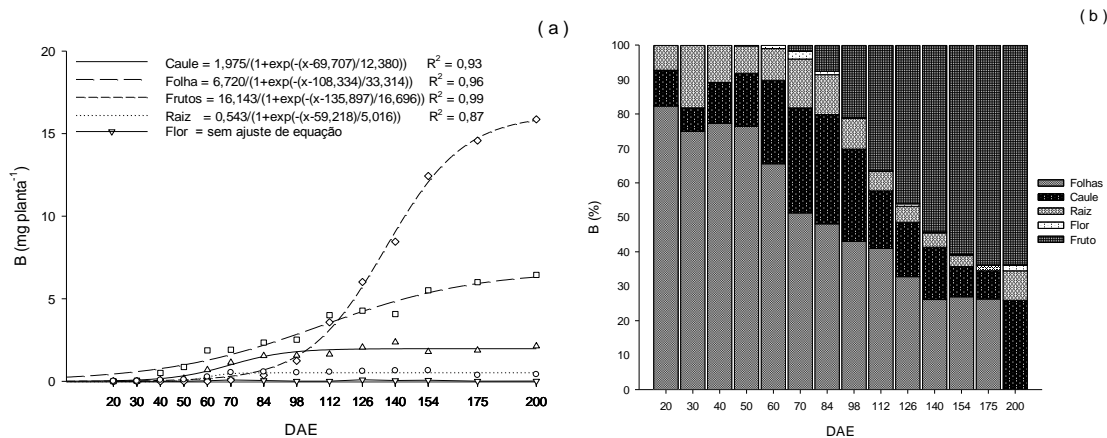
Quanto ao Zn, grande parte no percentual deste nutriente esteve presente na raiz até os 112 DAE; com o aumento na produção de frutos (Figura 7e) e a

consequente exigência de Zn, seu conteúdo aos 175 DAE passa de 50% de todo o conteúdo de Zn na planta.

A avaliação do conteúdo de micronutrientes realizada por Fontes et al. (2005b) em função da fertirrigação no pimentão, mostrou um acúmulo máximo de B, Cu, Fe, Mn e Zn na parte aérea de 18,8; 17,6; 63,7; 17,0 e 16,3 e mg planta⁻¹. No fruto esses acúmulos máximos foram de 6,6; 3,0; 23,9; 3,2 e 5,1 mg planta⁻¹ de B, Cu, Fe, Mn e Zn. Tais resultados para a parte aérea são superiores aos encontrados em pimenta-de-cheiro, porém os frutos da pimenteira-de-cheiro apresentam resultados substancialmente superior nos acúmulos de micronutrientes.

Silva (2012) em cultivo de pimentão enxertado, aos 140 DAT observou um acúmulo médio para parte vegetativa e frutos de 5,6 e 3,3 mg planta⁻¹ de B; 1,0 e 0,7 mg planta⁻¹ de Cu; 165,0 e 50,0 mg planta⁻¹ de Fe; 1,9 e 1,0 mg planta⁻¹ de Mn e 4,7 e 2,0 mg planta⁻¹ de Zn.

Com a variedade de pimentão Eppo, Charlo et al. (2012) encontraram os acúmulos de 16,6 mg planta⁻¹ de B; 3,3 mg planta⁻¹ de Cu; 45,9 mg planta⁻¹ de Fe; 34,7 mg planta⁻¹ de Mn e 22,2 mg planta⁻¹ de Zn. Destes resultados, somente o Mn se apresentou superior aos acúmulos encontrados para o presente estudo.



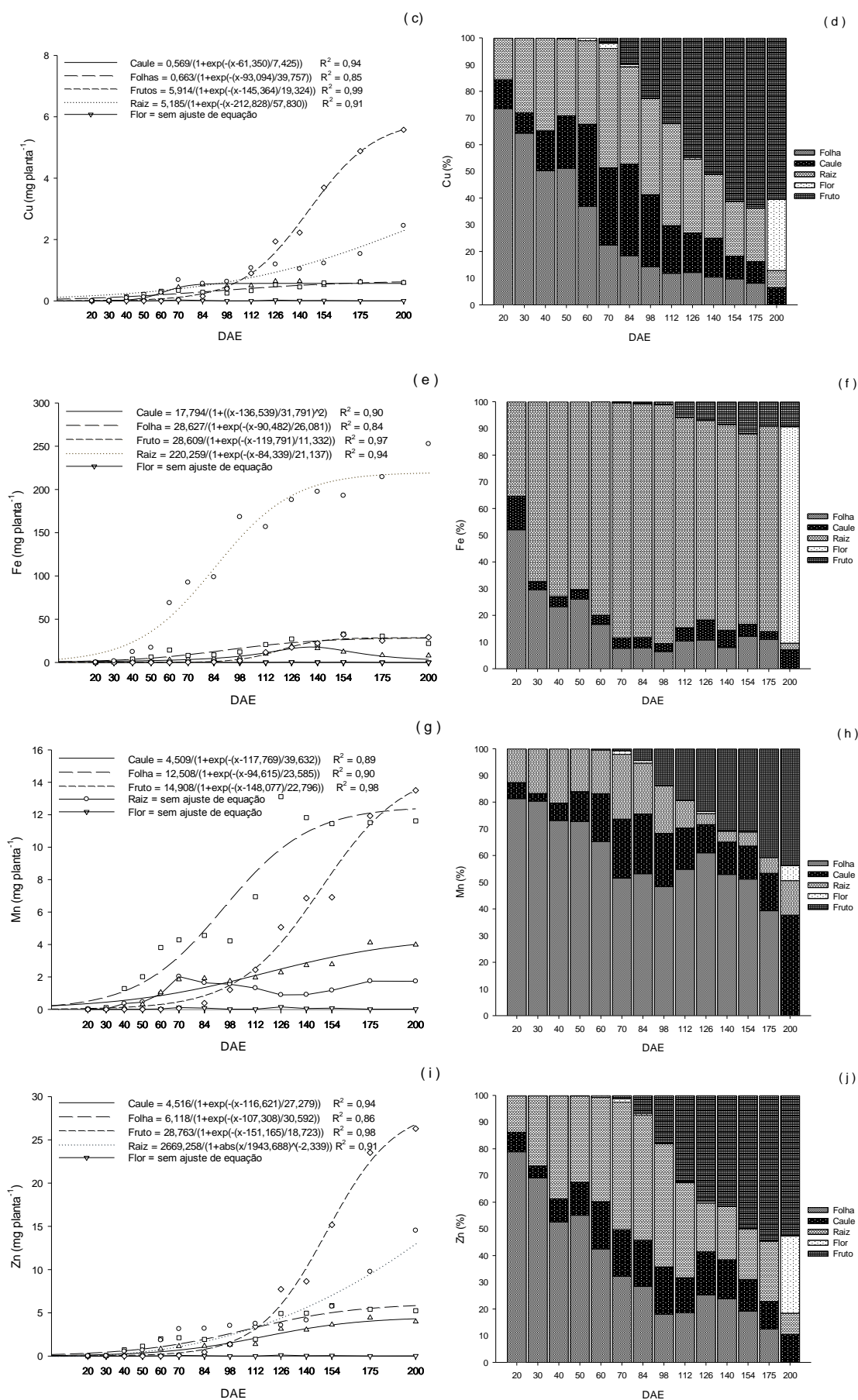


Figura 14. Acúmulo e percentual de boro (a, b), cobre (c, d), ferro (e, f), manganês (g, h) e zinco (i, j) em caule, folha, fruto, raiz e raiz de pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita, em casa de vegetação em Manaus, AM.

5.4.2. Percentual de acúmulo de micronutrientes

As interações entre micronutrientes e as diferentes partes da planta de pimenteira-de-cheiro foram significativas ($p < 0,01$), com destaque para o Fe, que apresentou percentual significativamente superior aos demais micronutrientes, tanto em relação às partes da planta, como em relação aos períodos de avaliação (Tabela 6).

Observa-se que Mn é o segundo micronutriente que mais acumulou na planta até os 84 DAE, momento em que o percentual de acúmulo de Zn se iguala estatisticamente com este, e com o crescente acúmulo no fruto, aos 154 DAE, o Zn passa a ser o segundo micronutriente mais acumulado e estatisticamente superior ao Mn na planta.

Desta forma aos 200 DAE os micronutrientes obedeceram a seguinte ordem liotrópica de acúmulo: Fruto = $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{B} > \text{Mn} > \text{Cu}$, Folha = $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{B} > \text{Zn} > \text{Cu}$, Caule = $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{B} > \text{Cu}$, Raiz = $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu} > \text{B}$, Flor = $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{B} > \text{Cu}$ e total na planta = $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{B} > \text{Cu}$.

Estes resultados contrastam com os obtidos por Fontes et al. (2005) que encontraram a seguinte ordem de acúmulo $\text{Fe} > \text{B} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Mn}$ no pimentão aos 224 DAT, diferente também dos resultados obtidos por Silva (2012) em pesquisa com pimentões enxertados ao obter a seguinte ordem de acúmulo: $\text{Fe} > \text{B} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu}$ aos 140 DAT. Charlo et al. (2012) também obtiveram resultados diferentes para o pimentão, com $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{B} > \text{Cu}$.

O contraste de resultados mostra que a pimenteira-de-cheiro possui exigência diferente das outras espécies do mesmo gênero *Capsicum*, ao requerer maiores quantidades principalmente de Mn durante todo seu ciclo e Zn principalmente durante o período produtivo.

Com base nos resultados obtidos para macro e micronutrientes, podemos afirmar que a pimenteira-de-cheiro (*C. chinense*) é exigente aos macronutrientes N e K e aos micronutrientes Mn e Zn, principalmente K e Zn no período produtivo.

No substrato devem estar disponíveis uma quantidade que permita a extração mínima de 30,1; 4,4; 50,0; 11,6; 7,5 e 9,5 mg planta⁻¹ dia⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg e S entre 0 e 40 DAE (fase vegetativa); 52,7; 13,8; 94,6; 22,7; 13,6 e 14,1 mg planta⁻¹ dia⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg e S entre 41 e 60 DAE (fase reprodutiva) e para o período entre 61 e 200 DAE (fase de produção) a disponibilidade de até 406,3; 70,8; 395,7; 45,3; 18,4 e 31,50 mg planta⁻¹ dia⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg e S.

Para os micronutrientes o substrato deve disponibilizar o mínimo que permita a extração de 0,03; 0,01; 0,98; 0,09 e 0,41 mg planta⁻¹ dia⁻¹ de B, Cu, Fe, Mn e Zn entre 0 e 40 DAE (fase vegetativa); 0,09; 0,28; 1,91; 0,15 e 0,08 mg planta⁻¹ dia⁻¹ de B, Cu, Fe, Mn e Zn entre 41 e 60 DAE (fase de reprodutiva) e para o período entre 61 e 200 DAE (fase de produção) a disponibilidade de até 0,28; 0,09; 3,13; 0,25 e 0,54 mg planta⁻¹ dia⁻¹ de B, Cu, Fe, Mn e Zn.

Tabela 7. Percentual de micronutrientes em caule, flor, folha fruto e raiz de pimenteira-de-cheiro (*Capsicum chinense* Jacquin) cv. Lupita em casa de vegetação em Manaus, AM.

Parte da Planta	Nutriente	Dias após a emergência (DAE)													
		20	30	40	50	60	70	84	98	112	126	140	154	175	200
Caule	Fe	89,5 a	83,9 a	64,0 a	51,5 a	50,7 a	47,3 a	46,0 a	52,6 a	64,4 a	69,9 a	65,0 a	58,5 a	43,0 a	42,4 a
	Zn	3,6 b	5,1 b	12,1 b	15,0 b	14,4 c	13,1 c	12,1 d	12,4 c	8,9 c	11,6 b	12,1 b	17,2 b	22,8 b	21,4 b
	Mn	3,2 bc	4,9 bc	11,6 b	18,2 c	18,1 b	21,2 bc	20,0 b	16,0 b	12,7 b	8,4 c	10,8 bc	13,2 c	21,1 b	21,4 b
	B	2,7 c	4,3 c	7,9 c	10,2 d	12,0 d	13,0 c	16,1 c	14,4 bc	10,6 bc	7,6 c	9,4 c	8,5 d	9,6 c	11,5 c
	Cu	0,9 d	1,6 d	4,1 d	4,9 e	4,6 e	5,1 d	5,5 e	4,3 d	3,2 d	2,3 d	2,5 d	2,4 e	3,2 d	3,1 d
Flor	Fe	0,0 a	0,0 a	52,4 a	52,1 a	54,2 a	51,2 a	58,0 a	39,7 a	51,8 a	47,2 a	40,5 a	61,9 a	54,0 a	43,3 a
	Mn	0,0 a	0,0 a	13,8 c	13,8 c	12,8 c	17,3 b	19,0 b	29,2 b	21,5 b	20,7 b	20,9 b	13,8 b	15,1 b	15,9 b
	Zn	0,0 a	0,0 a	17,8 b	17,7 b	14,9 b	13,5 c	8,7 c	11,3 d	8,9 d	15,9 c	15,5 d	10,0 c	14,8 b	21,8 c
	B	0,0 a	0,0 a	11,3 d	11,8 c	13,6 bc	13,0 c	11,0 c	16,1 c	14,2 c	12,5 d	18,6 c	11,7 bc	12,4 c	14,5 c
	Cu	0,0 a	0,0 a	4,5 e	4,4 d	4,3 d	4,8 d	3,2 d	3,4 e	3,3 e	3,5 e	4,3 e	2,4 d	3,5 d	4,3 d
Folha	Fe	76,9 a	74,5 a	59,5 a	59,5 a	64,0 a	48,2 a	48,8 a	59,1 a	60,8 a	59,7 a	52,1 a	58,3 a	56,3 a	47,9 a
	Mn	9,1 b	12,6 b	19,5 b	19,2 b	17,1 b	25,6 b	25,6 b	20,7 b	20,5 b	18,8 b	23,6 b	20,4 b	21,3 b	25,3 b
	B	4,4 d	4,3 d	7,6 d	8,2 d	8,4 c	11,4 c	13,1 c	12,3 c	11,8 d	9,4 c	10,4 d	9,8 c	11,1 c	14,0 c
	Zn	8,1 c	7,3 c	11,0 c	10,8 c	8,9 c	12,6 c	10,7 c	6,6 d	5,7 c	10,8 c	12,6 c	10,3 c	10,0 c	11,4 d
	Cu	1,2 e	1,2 e	2,0 e	2,0 e	1,4 d	2,0 d	1,6 d	1,2 e	0,9 e	1,1 d	1,1 e	1,0 d	1,1 d	1,3 e
Fruto	Fe	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	42,0 a	30,1 a	34,1 a	53,1 a	45,5 a	45,8 a	45,6 a	31,4 a	32,2 a
	Zn	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	19,1 b	23,6 b	21,4 b	15,3 b	20,2 b	17,8 b	21,5 b	29,3 b	29,1 b
	B	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	16,3 c	18,9 c	19,3 b	16,2 b	15,8 c	17,4 b	17,7 c	18,2 c	17,5 c
	Mn	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	15,3 c	19,3 c	18,8 b	11,1 c	13,3 d	14,1 c	9,8 d	14,9 d	14,9 d
	Cu	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	7,1 d	7,8 d	6,2 c	4,0 d	5,0 e	4,6 d	5,2 e	6,1 e	6,1 e
Raiz	Fe	93,7 a	96,0 a	92,0 a	92,8 a	95,3 a	93,5 a	94,3 a	96,4 a	95,8 a	96,7 a	96,6 a	95,6 a	94,0 a	92,9 a
	Zn	2,5 b	1,5 b	4,0 b	3,6 b	2,5 b	3,1 b	3,0 b	2,0 b	2,3 b	1,8 b	2,0 b	2,8 b	4,3 b	5,3 b
	Mn	2,5 b	1,4 b	2,7 c	2,4 bc	1,3 bc	2,0 b	1,5 b	0,8 b	0,8 b	0,4 b	0,4 c	0,5 b	0,7 c	0,6 c
	Cu	0,4 c	0,3 c	0,7 d	0,6 c	0,3 c	0,6 c	0,5 b	0,3 b	0,6 b	0,6 b	0,5 bc	0,6 b	0,6 c	0,9 c
	B	0,7 c	0,6 c	0,5 d	0,4 c	0,3 c	0,5 c	0,5 b	0,3 b	0,3 b	0,3 b	0,3 c	0,3 b	0,1 c	0,1 c
Planta	Fe	83,8 a	88,1 a	80,5 a	79,2 a	85,8 a	83,9 a	83,8 a	88,7 a	84,7 a	82,4 a	80,8 a	77,3 a	72,9 a	73,0 a
	Zn	5,8 b	3,7 c	6,6 c	6,7 c	4,7 c	5,2 c	5,0 c	3,6 bc	4,5 bc	6,4 b	6,6 b	8,7 b	11,4 b	11,7 b
	Mn	6,3 b	5,5 b	8,4 b	9,0 b	5,8 b	6,7 b	6,4 b	4,1 b	5,4 b	5,6 b	6,3 b	6,4 c	7,7 c	7,2 c
	B	3,1 c	2,0 d	3,1 d	3,7 d	2,9 d	3,0 d	3,6 d	2,8 c	4,2 c	4,3 c	4,9 c	5,9 c	6,0 d	5,8 d
	Cu	1,0 d	0,7 e	1,3 e	1,4 e	0,9 e	1,2 f	1,2 e	0,8 d	1,2 d	1,4 d	1,4 d	1,7 d	2,0 e	2,2 e

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

6. CONCLUSÕES

O crescimento da pimenteira-de-cheiro está definido em três fenofases principais que são: fenofase vegetativa (40 DAE), fenofase de florescimento (entre 40 e 60 DAE), e a Fase de produção (60 a 200 DAE).

A equação logística melhor representa o crescimento da pimenta-de-cheiro.

A equação sigmoide melhor representa resposta de acúmulo de nutrientes em folhas, caule, raiz e fruto.

A pimenteira-de-cheiro é exigente aos nutrientes N, K, Fe, Mn e Zn, principalmente a K, Fe e Zn no período produtivo.

O acúmulo de nutrientes na pimenteira-de-cheiro apresentou a seguinte serie liotrópica: $N > K > Ca > P > S > Mg > Fe > Zn > Mn > B > Cu$, aos 200 DAE.

7. REFERÊNCIAS

- ABDULNOUR, J. E.; DONNELLY, D. J.; BARTHAKUR, N. N. The effect of boron on calcium uptake and growth in micropropagated potato plantlets. **Potato Research**, v. 43, n. 3, p. 287–295, 2000.
- ALBUQUERQUE, F. S.; SILVA, E. F. F.; BEZERRA NETO E.; SOUZA, A. E. R.; SANTOS, A. N. Nutrientes minerais em pimentão fertirrigado sob lâminas de irrigação e doses de potássio. **Horticultura Brasileira**. v. 30, p. 681-687, 2012.
- ALMUDI, T; PINHEIRO, J. O. C. **Dados estatísticos da produção agropecuária e florestal do Estado do Amazonas: ano 2013**. Embrapa. Brasil, 2015. 103p.
- AMTMANN, A.; HAMMOND, J. P.; ARMENGAUD, P.; WHITE, P. J. Nutrient sensing and signalling in plants: potassium and phosphorus. **Advances in Botanical Research**, v. 43, p. 209–257, 2006.
- ARAUJO, J. S.; ANDRADE, A. P. de; RAMALHO, C. I.; AZEVEDO, C. A. V. de. Cultivo do pimentão em condições protegidas sob diferentes doses de nitrogênio via fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 13, n. 5, p. 559-565, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDAS. Pesquisa de mercado de sementes de hortaliças 2014. Disponível em: <<http://www.abcsem.com.br>>. Acesso em: 04 jan. 2017.
- BABA, V. Y.; ROCHA, K. R.; GOMES, G. P.; RUAS, C. de F.; RUAS, P. M.; RODRIGUES, R.; GONÇALVES, L. S. A. Genetic diversity of *Capsicum chinense* accessions based on fruit morphological characterization and AFLP markers. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 63, n. 8, p. 1371–1381, 2016.
- BALEMI, T., NEGISHO, K. Management of soil phosphorus and plant adaptation mechanisms to phosphorus stress for sustainable crop production: a review. **J. Soil Science and Plant Nutrition**, v. 12, p. 547–561, 2012.
- BAUMGARTNER, J. G. **Nutrição e adubação**. In: RUGGIERO, C. (Ed.). Maracujá. Ribeirão Preto: UNESP, 1987.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42p.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 42 p.
- BENTO, C. S.; SUDRE, C. P.; RODRIGUES, R.; RIVA, E. M.; PEREIRA, M. G. Descritores qualitativos e multicategóricos na estimativa da variabilidade fenotípica entre acessos de pimentas. **Scientia Agraria**, v. 8, n. 2, p. 149-156, 2007.

BENTSINK, L.; YUAN, K.; KOORNNEEF, M. The genetics of phytate and phosphate accumulation in seeds and leaves of *Arabidopsis thaliana*, using natural variation. **Theoretical Applied Genetic**, v. 106, p. 1234 –1243, 2003.

BISCARO, G. A.; FILHO, O. M. L.; ZONTA, T. T.; MENDONÇA, V.; MAIA, S. M. Adubação fosfatada na cultura do jiló irrigado nas condições de Cassilândia-MS. **Revista Caatinga**, v. 21, p. 69-74, 2008.

BIZET, F.; HUMMEL, I.; BOGEAT-TRIBOULOT, M. B. Length and activity of the root apical meristem revealed *in vivo* by infrared imaging. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 5, p. 1387–1395, 2015.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. Brasília: MAPA/SDA/CGAL, 2014. 223p.

BURKHEAD, J. L.; REYNOLDS, K. A.; ABDEL-GHANY, S. E.; COHU, C. M.; PILON M. Copper homeostasis. **New Phytologist**, v. 182, n. 4, p. 799-816, 2009.

BURSTROM, H. G. Calcium and plant growth. **Biological Reviews**, v. 43, p. 287–316, 1968.

CARDOSO, A. A. S.; SANTOS, J. Z. L.; TUCCI, C. A. F.; BARBOSA, T. M. B. Acúmulo de nutrientes e crescimento da pimenta-de-cheiro em função de doses de calcário. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 8, n. 2, p. 165-174, 2014.

CARVALHO, S. C. I.; BIANCHETTI, L. B. **Botânica e recursos genéticos**. In: RIBEIRO, S. C. R.; LOPES, C. A.; CARVALHO, S. I. C.; HENZ, G. P.; REIFSCHNEIDER, F. J. B. Pimenta Capsicum. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. p. 39-54.

CASTRO, C. M.; ALMEIDA, D. L. de; RIBEIRO, R. de L. D.; CARVALHO, J. F. de. Plantio direto, adubação verde e suplementação com esterco de aves na produção orgânica de berinjela. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 5, p. 495-502, 2005.

CASTRO, S. P.; DÁVILA, M. A. G. Caracterización morfológica de 93 accesiones de *Capsicum* spp del banco de germoplasma de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Palmira. **Acta Agronómica**, v. 57, p. 247-252, 2008.

CATANI, R. A.; ALONSO, O. Avaliação da exigência de calcário do solo. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 26, p.141-156, 1969.

CHARLO H. C. O; OLIVEIRA S. F.; VARGAS P. F.; CASTOLDI R.; BARBOSA J. C. ; BRAZ L. T. Accumulation of nutrients in sweet peppers cultivated in coconut fiber. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 125-131, 2012.

CHARLO, H. C. O.; OLIVEIRA, S. F.; CASTOLDI, R.; VARGAS, P. F.; BRAZ, L. T.; BARBOSA, J. C. Growth analysis of sweet pepper cultivated in coconut fiber in a greenhouse. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p. 316-323, 2011.

COHU, C. M.; PILON, M. **Cell biology of copper**. In: HELL, R.; MENDEL, R. R. editors. Plant cell monographs: cell biology of metals and nutrients. Springer, Heidelberg, 2010. 55–74p.

COSTA, L. V.; BENTES, J. L. S.; LOPES, M. T. G.; ALVES, S. R. M.; VIANA JÚNIOR, J. M. Caracterização de acessos de pimentas do Amazonas. **Horticultura Brasileira**, v. 33, p. 290-298, 2015.

CRESTE, J. E. **O potássio na cultura dos citrus**. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Eds). Potássio na agricultura brasileira. SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, São Paulo, SP, 2004. Anais. . . Piracicaba: POTAFOS, 2005, cap. 19, p. 491-522.

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. M.; CANELAS, L. P.; NOVOTNY, E. H.; MOUTTA, R. O.; TROMPOWSKY, P.; SANTOS, G. A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amazônia (Terra Preta). **Acta Amazônica**, v. 37, p. 91-98, 2007.

DADA, O. A.; OGUNSESU, Y. O. growth analysis and fruit yield of *Capsicum chinense*, Jacquin as influenced by compost applied as foliar spray and soil augmentation in Ibadan, Southwestern Nigeria. **Journal of Agriculture and Sustainability**, v. 9, nº1, p. 83-103, 2016.

DE KOK, L. J.; TAUSZ, M.; HAWKESFORD, M. J.; HOEFGEN, R.; MCMANUS, M. T.; NORTON, R. M.; RENNENBERG, H.; SAITO K.; SCHNUG, E.; TABE, L. **Sulfur metabolism in plants: mechanisms and applications to food security and responses to climate change**. Dordrecht: Springer; 2012. p. 284.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos essenciais e benéficos às plantas superiores. In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006.

DELL, B.; HUANG, L. Physiological response of plants to low boron. **Plant and Soil**, v. 193, p. 103-120, 1997.

DEMATTE, J. L. I. **Manejo de solos ácidos dos trópicos úmidos: região Amazônica**. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 215p.

DIAS, E. N. **Absorção de nutrientes, crescimento vegetativo e produção de frutos maduros de pimentão, em estufa**. 2000. 70 f. (Tese mestrado) – Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

DOMENICO, C. I.; COUTINHO J. P.; GODOY H. T.; MELO A. M. T. Caracterização agrônômica e pungência em pimenta de cheiro. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 3, p. 466-472, 2012.

DUCA, M. **Plant physiology**. London: Springer. 2015. 315p.

EI-SAADY, A. M.; ABDALLA, F. E.; EI-METWALLY, A. E.; SAFINA, S. A.; EI-SAWY, S. S. Influence of magnesium and copper foliar application on wheat yield and quality of grains under sandy soil condition. **Journal of American Science**, v. 9, n. 2, p. 109–115, 2011.

EMONGOR, V. E.; MABE, O. Effects of phosphorus on growth, yield and yield components of chilli pepper (*Capsicum annuum* L.). **Acta Horticultura**, v. 936, p. 327-334, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ed, rev. e ampl. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e Perspectivas**. 2. ed. Londrina: Editora Planta, 2006.

FAGERIA, N. K. **The use of nutrients in crop plants**. New York: CRC Press. 2009. p. 430.

FALCÃO, N. P. S.; SILVA, J. R. A. Características de adsorção de fósforo em alguns solos da Amazônia Central. **Revista Acta Amazônica**, v. 34, p. 337-342, 2004.

FALESI, I. C. **O estado atual dos conhecimentos sobre os solos da Amazônia Brasileira**. In: FALESI, I. C. **Zoneamento agrícola da Amazônia** (1ª aproximação). Boletim Técnico do Instituto de Pesquisa Agropecuária do Norte (IPEAN), v. 54, p. 17/67, 1972.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005.

FAYAD, J. A.; FONTES, P. C. R.; CARDOSO, A. A.; FINGER, F. L.; FERREIRA, F. A. Absorção de nutrientes pelo tomateiro cultivado sob condições de campo e de ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 1, p. 90-94, 2002.

FENNER, M. The phenology of growth and reproduction in plants. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 1, n. 1, p. 78-91, 1998.

FERNANDES, J. C.; HENRIQUES, F. S. Biochemical, physiological, and structural effects of excess copper in plants. **The Botanical Review**, v. 57, p. 246-273, 1991.

FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 432p.

FERREIRA, D. F. **Sisvar**: sistema de análise de variância para dados balanceados: versão 4. 0. Lavras: UFLA, 1999. (Software estatístico).

FERREIRA, M. M. M.; FERREIRA, G. B.; FONTES, P. C. R. Produção do tomateiro em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica em duas épocas de cultivo. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 3, p. 468-473, 2003.

FINGER, F. L.; LANNES, S. D.; SCHUELTER, A. R.; DOEGE, J.; COMERLATO, A. P.; GONÇALVES, L. S. A.; FERREIRA, F. R. A.; CLOVIS, L. R.; SCAPIM, C. A. Genetic diversity of *Capsicum chinensis* (Solanaceae) accessions based on molecular

markers and morphological and agronomic traits. **Genetic Molecular Resource**, v. 9, p. 1852–1864, 2010.

FISCHER, E. S.; BREMER, E. Influence of magnesium deficiency on rates of leaf expansion, starch and sucrose accumulation and net assimilation in *Phaseolus vulgaris*. **Physiologia Plantarum**, v. 89, p. 271–276, 1993.

FONTES, P. C. R.; DIAS, E. N.; GRAÇA, R. N. Acúmulo de nutrientes e método para estimar doses de nitrogênio e de potássio na fertirrigação do pimentão. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 2, p. 275-280, 2005b.

FONTES, P. C. R.; DIAS, E. N.; SILVA, J. H. da. Dinâmica do crescimento, distribuição de matéria seca e produção de pimentão em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 1, p. 94-99, 2005a.

FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R. do; RESENDE, A. V. de; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. A. de. **Fertilidade do solo**. Lavras: FAEPE, 2001. 252 p.

GAMA, D. R. da S.; MESQUITA, A. C.; YURI, J. E.; FERREIRA, K. M.; SOUZA, V. Different shading environments impact growth and yield of three mini-tomato cultivars. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 2, p. 324-334, 2017.

GARRUÑA-HERNÁNDEZ, R.; ORELLANA, R.; LARQUE-SAAVEDRA, A.; CANTO, A.; Understanding the physiological responses of a tropical crop (*Capsicum chinense* Jacq.) at high temperature. **PLoS ONE**, v. 9, n. 11, p. 1-9, 2014.

GRANGEIRO, L. C.; NEGREIROS, M. Z.; SOUZA, B. S.; AZEVEDO, P. E.; OLIVEIRA, S. L.; MEDEIROS, M. A. Acúmulo e exportação de nutrientes em beterraba. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 2, p. 267-273, 2007.

HAAG, H. P.; OLIVEIRA, G. D.; BARBOSA, V.; SILVA, J. M. Nutrição mineral de hortaliças. Marcha de absorção de nutrientes pelo tomateiro destinado ao processamento industrial. **Anais da ESALQ**, v. 35, p. 243-270, 1978.

HALFORD N.G. **Photosynthate partitioning**. In: PUA E.; DAVEY M. (Eds). Plant developmental biology - biotechnological perspectives. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010. 67-82p.

HANEKLAUS, S.; BLOEM, E.; SCHNUG, E.; KOK, L. J. de; STULEN, I. **Sulfur**. In: BARKER, A. V., PILBEAM, D. J. (Eds.), Handbook of plant nutrition. CRC Press, Boca Raton. 2007. 662p.

HAVLIN, J. L.; TISDALE, S. L.; BEATON, J. D.; NELSON, W. L. **In soil fertility and fertilizers**. Prentice Hall (India), New Delhi. 2007. 528p.

HELL, R; MENDEL, R. **Cell biology of metals and nutrients**. Dordrecht: Springer; 2012. p. 304.

HOPKINS, B. G.; J. W. ELLSWORTH. **Phosphorus placement for sugarbeet in calcareous soil**. In MURPHY, L. (Ed.) Fluid forum proceedings. Vol. 22. Fluid Fertilizer Foundation: Manhattan. 2005.

HORLITZ, M.; KLAFF, P. Gene-specific trans-regulatory functions of magnesium for chloroplast mRNA stability in higher plants. **Journal of Biological Chemistry**, v. 275, p. 35638–35645, 2000.

HUMPHRIES, J. M.; STANGOULIS, J. C. R.; GRAHAM, R. D. **Manganese**. In: BARKER A. V.; PILBEAM, D. J. (Eds.), Handbook of plant nutrition. CRC Press, Boca Raton. 2007. 662p.

HUNT, R. **Plant growth analysis**: individual plants. In: THOMAS B.; MURPHY D. J.; MURRAY D. (eds.) Encyclopedia of applied plant sciences. London: Academic Press. p. 579-588, 2003.

HUNT, R.; CAUSTON, D. R.; SHIPLEY, B.; ASKEW, P. A modern tool for classical plant growth analysis. *Annals of Botany*, 90: 485-488, 2002.

JAIMEZ, R. A.; RADA, F. Gas exchange, growth, flowering and fruit production in sweet pepper (*Capsicum chinense* Jacq) along a thermal gradient determined by altitudinal differences in a tropical region. **Experimental Agriculture**, p. 1-15, 2015.

KIRKBY, E. **Introduction, definition and classification of nutrients**. In: MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 3. ed London: Elsevier, 2012. 643p.

KLIEMANN, H. J.; CAMPELO JR., J. H.; AZEVEDO, J. A. de; GUILHERME, M. R.; GEN, P. J. C. **Nutrição mineral e adubação do maracujazeiro** (*Passiflora edulis* Sims). In: HAAG, H. P. (Ed.). Nutrição mineral e adubação de frutíferas tropicais no Brasil. Campinas: Fundação Cargill, 1986.

KOBAYASHI, T.; NISHIZAWA, N. K. Iron uptake, translocation, and regulation in higher plants. **Annual Review Plant Biology**, v. 63, p. 131–52, 2012.

KRETSINGER, R. H.; UVERSKY, V. N.; PERMYAKOV, E. A. **Encyclopedia of metalloproteins**. Springer: New York, 2013. 2574p.

KUMAR, A. R.; KUMAR, N.; KAVINO, M. Role of potassium in fruit crops - a review. **Agriculture Review**, v. 27, n. 4, p. 284 –291, 2006.

LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H. E. P.; SALOMÃO, L. C. C.; CRUZ, C. D.; MENDONÇA, S. M.; NETO, A. P. Alocação de fotoassimilados em folhas e frutos de cafeeiro cultivado em duas altitudes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 11, 1521-1530, 2007.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2. Ed, São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 218p.

LEVEY, D. J.; BISSELL, H. A.; O'KEEFE, S. F. Conversion of nitrogen to protein and amino acids in wild fruits. **Journal of Chemical Ecology**, v. 26, p. 1749, 2000.

LIETH, H. **Introduction to phenology and the modeling of seasonality**. In H. LIETH (Ed.). Phenology and seasonality modeling. Ecological studies. Berlin: Springer Verlag. 1974, 3-19 p.

LIM, T. K. *Capsicum chinense*. In: LIM, T. K. **Edible medicinal and non-medicinal plants**: Volume 6, Fruits. London: Springer, p.205-212. 2013.

LIMA, T. P. DE; GOMES FILHO, R. R.; REIS, E. F.; CARVALHO, C. M. DE; CADORE, R.; FREITAS, D. S. Production of pepper *Capsicum chinense* under different irrigation depths in greenhouse. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 1, p. 1254-1260, 2017.

LIU, D.; JIANG, W.; ZHANG, L.; LI, L. Effects of boron ions on root growth and cell division of broad bean (*Vicia faba* L.). **Israel Journal Plant Science**, v. 48, p. 47–51, 2000.

LUDWIG, B.; KHANNA, P. K.; ANURUGSA, B.; FOLSTER, H. Assessment of cation and anion exchange and pH buffering in an Amazonian Ultisol. **Geoderma**, v. 102, p. 27-40, 2001.

MACÊDO, L. S.; ALVARENGA, M. A. R. Efeitos de lâminas de água e fertirrigação potássica sobre o crescimento, produção e qualidade do tomate em ambiente protegido. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 2, p. 296-304, 2005.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Ed. Agronômica Ceres, São Paulo, 1980, 251p.

MALAVOLTA, E. **Fertilising for high yield sugarcane**. International Potash Institute. Basileia. 1994, 104p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2006, 631p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, A. S. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba: Potafós. 1989.

MARCUSSI, F. F. N.; VILLAS BÔAS, R. L.; GODOY, L. J. G.; GOTO, R. Macronutrient accumulation and partitioning in fertigated sweet pepper plants. **Scientia Agricola**, v. 61, p. 62-68, 2004.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009. 486p.

MARQUES, D. J.; BROETTO, F.; SILVA, E. C. da. Efeito do estresse mineral induzido por fontes e doses de potássio na produção de raízes em plantas de berinjela (*Solanum melongena* L.). **Revista Caatinga**, v. 23, p. 7-12, 2010.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed London: Elsevier, 2012. 643p.

MASCLAUX-DAUBRESSE, C.; DANIEL-VEDELE, F.; DECHORGNAT, J.; CHARDON, F.; GAUFICHON, L.; SUZUKI, A. Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. **Annals of Botany**, v. 105, p. 1141–1157, 2010.

MATSUDA, H. Magnesium gating of the inwardly rectifying K⁺ channel. **Annual Review of Physiology**, v. 53, p. 289-298, 1991.

MEDINA-LARA, F.; ECHEVARRÍA-MACHADO, I.; PACHECO-ARJONA, R.; RUIZ-LAU, N.; GUZMÁN-ANTONIO, A.; MARTINEZ-ESTEVEZ, M. Influence of nitrogen and potassium fertilization on fruiting and pungency in habanero Pepper *Capsicum chinense* Jacq. **HortScience**. v. 43, n. 5, p. 1549-1554, 2008.

MEHNE-JAKOBS B. The influence of magnesium-deficiency on carbohydrate concentrations in Norway spruce (*Picea abies*) needles. **Tree Physiology**, v. 15, p. 577–584, 1995.

MELO, A. S.; BRITO, M. E. B.; DANTAS, J. D. M.; SILVA JÚNIOR, C. D.; FERNANDES, P. D. BONFIM, L. V. Produção e qualidade do pimentão amarelo sob níveis de potássio em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, p. 17-21, 2009.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. **Principles of plant nutrition**. 5. ed. Boston, London: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.

MERHAUT, D. J. **Magnesium**. In: BARKER A. V.; PILBEAM, D. J. (Eds.), Handbook of plant nutrition. CRC Press: Boca Raton. 2007.

MEURER, E. J. **Potássio**. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). Nutrição mineral de Plantas. SBCS, 2006. p. 281-298.

MITRA, G. N.; **Regulation of nutrient uptake by plants: a biochemical and molecular approach**. Springer: Índia, 2015, 195p.

MIWA, K.; FUJIWARA, T. **Role of boron in plant growth and its transport mechanisms**. Springer: Verlag. 456: 671-677, 2010.

MONTEIRO, E. R. do. **Identificação botânica e divergência genética em pimentas do gênero *Capsicum* spp.** 2008. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, UFPI, Teresina. 2008.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. **Variação das propriedades químicas e físicas do solo e na matéria orgânica em agroecossistemas da Amazônia Ocidental (Amazonas)**. Piracicaba: CENA/USP, 2002. 79p.

MUKHOPADHYAY, M.; SHARMA, A. Manganese in cell metabolism of higher plants. **Botanical Review**, v. 57, p. 117-149, 1991.

MÜLLER, R.; NILSSON, L.; NIELSEN L. K.; NIELSEN, T. H. Interaction between phosphate starvation signalling and hexokinase-independent sugar sensing in Arabidopsis leaves. **Physiologia Plantarum**, v. 124, p. 81–90, 2005.

MURRAY, J. A. H.; JONES, A.; GODIN, C.; TRAAS, J. Systems analysis of shoot apical meristem growth and development: integrating hormonal and mechanical signaling. **The Plant Cell**, v. 24, n. 10, p. 3907–3919. 2012.

NASCIMENTO, M. S. do. **Marcha de absorção de nutrientes em dois híbridos de mamona de porte baixo**. 2009. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Botucatu. 2009.

NEALES, T. F. Components of the total magnesium content within the leaves of white clover and perennial ryegrass. **Nature**, v. 177, p. 388 – 389, 1956.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 399p. 1999.

OERTLI, J. J. The mobility of boron in plants. **Plant and Soil**, v. 155, n. 1, p. 301-304. 1993.

OLIVEIRA, F. de A. de; CAMPOS, M. de S.; OLIVEIRA, F. R. A. de; OLIVEIRA, M. K. T. de; MEDEIROS, J. F. DE; MELO, T. K. de. Desenvolvimento e concentração de nitrogênio, fósforo e potássio no tecido foliar da berinjela em função da salinidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 1, p. 37-45, 2011.

OLIVEIRA, J. R. DE; GOMES, R. L. F.; ARAÚJO, A. S. F.; MARINI, F. S., LOPES, J. B.; ARAÚJO, R. M. Estado nutricional e produção da pimenteira com uso de biofertilizantes líquidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n. 12, p. 1241-1246, 2014.

OZTURK, M.; SAKCALI, S.; GUCEL, S.; TOMBULOGLU, H. **Boron and plants**. In: ASHRAF, M.; OZTURK, M.; AHMAD, M. S. A. Plant adaptation and phytoremediation. Springer: Netherlands, 2010. 481 p.

PEREIRA, A. R.; MACHADO, E. C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais**. Campinas, Instituto Agrônomo. Boletim Técnico. 114, 1987, 33p.

PEREIRA, I. S.; BARRETO, F. Z.; BALSALOBRE, T. W. A., SALA, F. C.; COSTA, C. P.; CARNEIRO, M. S. Validação de marcadores moleculares associados à pungência em pimenta. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 2, 189-195, 2015.

PÉREZ-HARGUINDEGUY, N.; DÍAZ, S.; GARNIER, E.; LAVOREL, S.; POORTER, H.; JAUREGUIBERRY, P.; BRET-HARTE, H. S.; CORNWELL, W. K.; CRAINE, J. M.; GURVICH, D. E.; URCELAY, C.; VENEKLAAS, E. J.; REICH, P. B.; POORTER, L.; WRIGHT, I. J.; RAY, P.; ENRICO, L.; PAUSAS, J. G.; DE VOS, A. C.; BUCHMANN, N.; FUNES, G.; QUÉTIER, F.; HODGSON, J. G.; THOMPSON, K.; MORGAN, H. D.; TER STEEGE, H. SACK, L.; BLONDER, B.; POSCHLOD, P.; VAIERETTI, M. V.; CONTI, G.; STAYER, A. C.; AQUINO, S.; CORNELISSEN, J. H. C.; New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, v. 61, p. 167-234, 2013.

PESSARAKLI, M. **Handbook of photosynthesis**. 2nd Edition, CRC Press: Boca Raton, 2001. 846p.

PILBEAM, D. J.; MORLEY, P. S. **Calcium**. In: BARKER A. V.; PILBEAM, D. J. (Eds.), Handbook of plant nutrition. CRC Press: Boca Raton. 2007.

PINTO, M. G.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Potencial produtivo de 40 genótipos de arroz inundado em solo pobre, sem adição de N. **Agronomia**, v. 35, p. 43-46, 2001.

POHL, S. **Análise de crescimento de batata cv. Baronesa transformada com gene de resistência ao PVY**. 2008, 60f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

PRAJAPATI, K.; MODI, H. A. The importance of potassium in plant growth – a review. **Indian Journal of Plant Sciences**, v. 1, p. 177-186, 2012.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Ceres, Potafos, Piracicaba, 1991. 343p.

RÊGO, E. R.; RÊGO, M. M.; MATOS, I. W. F.; BARBOSA, L. A. Morphological and chemical characterization of fruits of *Capsicum* spp. accessions. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p. 364-371, 2011.

REIS, G. G.; MULLER, M. W. **Análise de crescimento de plantas mensuração do crescimento**. Belém: CPATU, 1979. 37 p.

RESENDE, A. V.; MARTINS, E. S.; HURTADO, S. M. C.; OLIVEIRA, C. G.; SENA, M. C. Protocolo de avaliação agrônômica de rochas e produtos derivados como fontes de nutrientes às plantas ou condicionadores de solo. **Documentos - Embrapa Milho e Sorgo**, v. 143, p. 30, 2012.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º Aproximação**. Viçosa, 1999. p. 359.

RÖMHELD, V.; NIKOLIC, M. **Iron**. In: BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. (Eds.), Handbook of plant nutrition. CRC Press: Boca Raton. 2007. 662p.

SABREEN, S.; SAIGA, S.; SAITOH, H.; TSUIKI, M.; MAYLAND, H. F. Performance of high-magnesium cultivars of three cool-season grasses grown in nutrient solution culture. **Journal of Plant Nutrition**, v. 26, n. 3, p. 589-605, 2003.

SANTOS, L. G.; SOUZA, U. O.; CARVALHO, Z. S.; PRIMO, D. C.; SANTOS, A. R. Análise de crescimento do girassol em função do suprimento de fósforo e boro. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 2, p. 370-381, 2015.

SÃO JOSÉ, A. R.; PRADO, N. B. do; BOMFIM, M. P.; REBOUÇAS, T. N. HOJO; MENDES, H. T. A. e. Marcha de absorção de nutrientes em anonáceas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, p. 176-183, 2014.

SCHACHTMAN, D. P.; REID, R. J.; AYLING, S. M. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. **Plant Physiology**, v. 116, p. 447-453, 1998.

SCHEIBLE, W. R.; ROJAS-TRIANA, M. **Sensing, signalling, and control of phosphate starvation in plants: molecular players and applications**, in: PLAXTON, W. C.; LAMBERS, H. Annual plant reviews. V. 48: Phosphorus metabolism in plants. Hoboken: John Wiley & Sons, 2015. p. 25-49.

SCHLICHTING, C. D. The evolution of phenotypic plasticity in plants. **Annual Review in Ecology System**, v. 17, p. 667-693, 1986.

SCHNUG, E. **Sulfur in agroecosystems**. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, 1998. 227p.

SHUKLA, T. C.; SHARMA, J. Effect of age of transplants on growth and yield of Capsicum. **International Journal of Farm Sciences**, v. 1, nº2, p. 56-62, 2011.

SIGMA PLOT. **Scientific Graphing Software**: versão 14. 0. San Rafael: Jandel Corporation, 2002. (Software estatístico).

SILVA, A. P. Nutrição mineral de plantas e suas implicações na cultura do repolho para produção agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, n.11, p. 1-10, 2010.

SILVA, E. C.; MIRANDA, J. R. P.; ALVARENGA, M. A. R. Concentração de nutrientes e produção do tomateiro podado e adensado em função do uso de fósforo, de gesso e de fontes de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v. 19, n. 1, p. 64-69, 2001.

SILVA, E. G. **Acúmulo de nutrientes e desempenho agrônômico do pimenteiro (*Capsicum Annum* L.) em função dos métodos de enxertia**. Universidade Estadual Paulista (Dissertação de Mestrado) Botucatu, 2012, 80p.

SILVA, M. A. G.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; FERNANDES, H. G.; GRANJA, F. A.; SCIVITTARO, W. B. Efeito do nitrogênio e potássio na nutrição do pimentão cultivado em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 913-922, 2001.

SMITH, P. G.; HEISER JR, C. B. Taxonomy of *Capsicum sinense* Jacq. and the geographic distribution of the cultivated *Capsicum* species. **Bulletin Torrey Botanical Club**, v. 84, p. 413–420, 1957.

SOLFANELLI, C.; POGGI, A.; LORETI, E.; ALPI, A.; PERATA, P. Sucrose-specific induction of the anthocyanin biosynthetic pathway in Arabidopsis. **Plant Physiology**, v. 140, p. 637–646, 2006.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. **Nitrogen-acquisition by plants in a sustainable environment**. In: SINGH, R. P.; JAIWAL, P. K. (Ed.). Biotechnological approaches to improve nitrogen use efficiency in plants. Houston: Studium Press, 2006. 41-62p.

STEER, B. T.; PEARSON, C. J. Photosynthate translocation in *Capsicum annum*. **Planta**, v. 128, p. 155-162, 1976.

STOREY, J. B.; **Zinc**. In: BARKER A. V.; PILBEAM, D. J. (Eds.): Handbook of plant nutrition. Boca Raton: CRC Press. 2007.

STOREY, R.; TREEBY, M. T.; MILNE, D. J. CREASE: Another Ca deficiency-related fruit disorder? **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 77, 565–571, 2002.

SUDRÉ, C.P.; GONÇALVES, L. S. A.; RODRIGUES, R.; AMARAL JÚNIOR, A. T. DO; RIVA-SOUZA, BENTO, E. M. C. DOS S. Genetic variability in domesticated Capsicum

spp as assessed by morphological and agronomic data in mixed statistical analysis. **Genetic Molecular Research**, v. 9, n. 1, p. 283-294, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artimed, 2013. 954p.

TANAKA, M.; FUJIWARA, T. Physiological roles and transport mechanisms of boron: perspectives from plants. **European Journal of Physiology**, v. 456, p. 671–677, 2008.

TENG, S.; KEURENTJES J.; BENTSINK, L.; KOORNNEEF, M.; SMEEKENS, S. Sucrose-specific induction of anthocyanin biosynthesis in *Arabidopsis* requires the MYB75/PAP1 gene. **Plant Physiol**, v. 139, p. 1840–1852, 2005.

TORRES, J. L. R.; FABIAN, A. J.; POYAY, V. G. Níveis de adubação nitrogenada nas características morfológicas e produtividade do jiló. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 2, p. 166–169, 2003.

URCHEI, M. A.; RODRIGUES, J. D.; STONE, L. F. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 3, p. 497-506, 2000.

VANCE, C. P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D. L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, v. 157, p. 423–447. 2003.

VIEIRA, L. S.; SANTOS, P. C. T. C. **Amazônia**: seus solos e outros recursos naturais. São Paulo: Ceres, 1987.

WATERS, B. M.; GRUSAK, M. A. Whole-plant mineral partitioning throughout the life cycle in *Arabidopsis thaliana* ecotypes Columbia, *Landsberg erecta*, Cape Verde Islands, and the mutant line ysl1ysl3. **New Phytologist**, v. 177, p. 389–405, 2008.

WHITE, P. J.; HAMMOND, J. P. **Phosphorus nutrition of terrestrial plants**. In WHITE, P. J., HAMMOND, J. P. Eds: The ecophysiology of plant-phosphorus interactions. Dordrecht: Springer 2008. P. 51-81.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Calcium in plants. **Annals of Botany**, v. 92, p. 487–511, 2003.

WYN JONES, R. G.; LUNT, O. R. The function of calcium in plants. **Botanical Review**, v. 33, p. 407–426, 1967.

XU, F.; GOLDBACH, H.; BROWN, P. H.; BELL, R. W.; FUJIWARA, T.; HUNT, C. D.; GOLDBERG, S.; SHI, L. **Advances in plant and animal boron nutrition**. Netherlands: Springer, 2007. 380p.

YAMAGUCHI, Y.; SANO, H. The sulfate assimilation pathway in higher plants: Recent progress regarding multiple isoforms and regulatory mechanisms. **Plant Biotechnology**, v. 18, n. 1, p. 17- 25, 2001.

YRUELA, I. Copper in plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 17, n. 1, p. 145-156, 2005.

